

125<sup>IT</sup>



**ПОЛИТЕХ**  
Инженерно-строительный  
институт

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов Всероссийской конференции

1–4 апреля 2024 года

Часть 1



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

Инженерно-строительный институт

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов  
Всероссийской конференции

1–4 апреля 2024 года

Часть 1



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург

2024

УДК 69:624:625:626:627

ББК 38

Н42

**Неделя науки ИСИ** : сборник материалов Всероссийской конференции, 1–4 апреля 2024 г. В 4 ч. Ч. 1. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 457 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Инженерно-строительного института СПбПУ, университетов, научных организаций и предприятий Санкт-Петербурга, России, зарубежных стран по материалам докладов, принятых на секционные заседания конференции «Неделя науки ИСИ» Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института. Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области строительства.

Представляет интерес для специалистов в различных областях знаний, учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Материалы сборника подготовлены и изданы при поддержке Научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе».

Редакционная коллегия

Инженерно-строительного института СПбПУ:

*М. В. Петроченко* (и.о. директора института), *М. Ю. Андрианова*,  
*Н. Д. Беляев* (отв. ред.), *В. В. Елистратов*, *И. Г. Кудряшева*, *Г. Л. Козинец*,  
*М. И. Куколев*, *В. В. Терлеев*, *О. Ю. Цветков*

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-8558-8 (ч. 1)  
ISBN 978-5-7422-8557-1

© Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, 2024

СЕКЦИЯ «ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

УДК: 627.83: 627.152

А.А. Балакина, Н.П. Лавров, И.Е. Фролова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА И РАСЧЕТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ  
ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЕРИВАЦИОННОЙ ГЭС  
НА Р. КУРКУРЕУ, КЫРГЫЗСТАН

Целью работы является определение особенностей подбора и расчета гидротехнических затворов водозаборного сооружения деривационной ГЭС на р. Куркуреу.

В водосбросных и водоприемных отверстиях водозаборного сооружения деривационной ГЭС на р. Куркуреу для управления технологическими процессами предусмотрено устройство гидротехнических затворов. Основное назначение этих затворов – пропуск расчетных расходов воды и поддержание необходимых уровней [1].

На рисунке 1 представлена конструктивная схема водозаборного сооружения для деривационных ГЭС (ВСДГ-2) [2], где указаны водопропускные отверстия и пролеты, на которых располагаются гидротехнические затворы. К ним относятся водоприемник деривации 5, затвор зимнего водозабора 6, затвор водосброса водоприемной камеры 8, затворы промывных трактов 9 и затвор речного пролета 10.

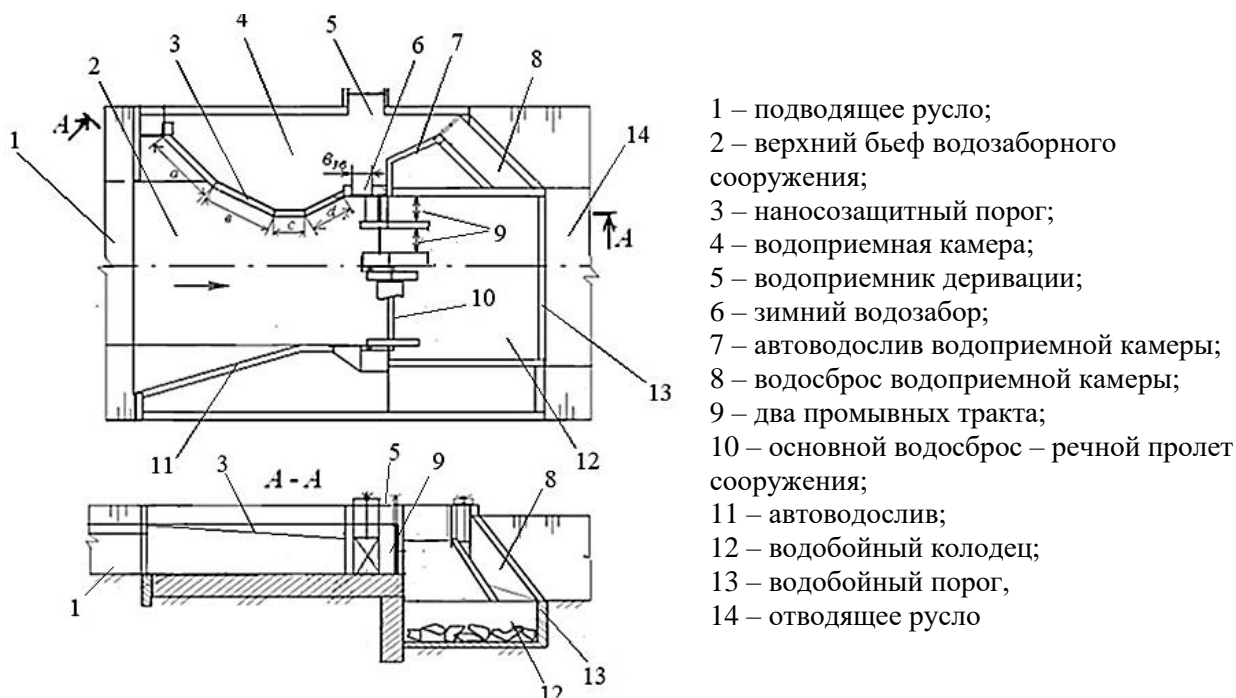


Рис. 1. Расчетная схема ВСДГ-2 с четырехсекционным ломаным в плане порогом

Подбор конструкций гидротехнических затворов производился с учетом их назначения, размеров и расположения перекрываемых отверстий, строительной высоты и расчетной глубины воды в верхнем бьефе сооружений. Исходя из этих условий, на водоприемнике

деривации 5, также, как на промывном тракте 9 может быть установлен типовой плоский скользящий затвор с электрическим приводом. Однако, имея в виду необходимость подачи на гидротурбины постоянного во времени (часы, сутки) расхода воды, в последние годы на водоприемниках 5 деривации ГЭС устанавливаются стабилизаторы расхода воды типа секционный ступенчатый коробчатый щит (ССКЩ) [2, 4, 5].

В зимнее время забор воды из верхнего бьефа 2 сооружения в водоприемную камеру 4 должен производиться из донных слоев потока, не содержащих льда и шуги. С учетом этой особенности для отверстия зимнего водозабора 6 подобран плоский глубинный затвор с электрическим или ручным приводом.

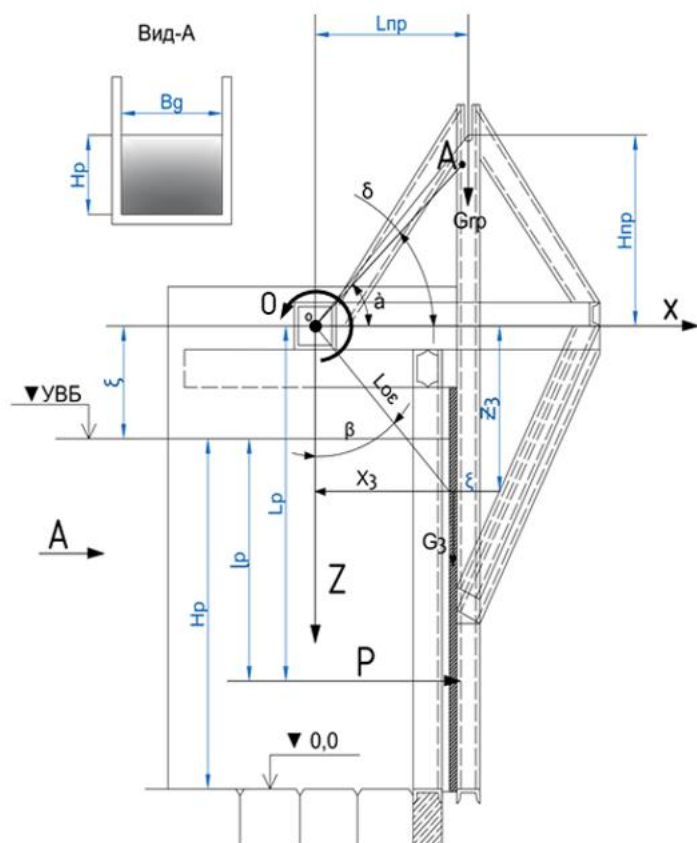


Рис. 2. Расчетная схема затвора-автомата уровня верхнего бьефа

Для реки Куркуреу характерно резкое сезонное и внутрисуточное колебание расходов и уровней воды. Кроме того, речной поток в режиме паводка транспортирует большое количество влекомых наносов (песка, гравия, булыжника). Исходя из этого, для автоматизации процесса поддержания необходимого для забора воды уровня и сброса излишков воды и наносов в нижний бьеф для установки на наиболее крупном речном (сбросном) пролете 10 был выбран прямодействующий затвор-автомат уровня верхнего бьефа [2, 4, 5]. Этот гидравлический авторегулятор уровня отличается простотой конструкции, высокой чувствительностью, эксплуатационной надежностью и скоростью регулирования.

Авторегуляторы такого типа установлены на десятках ирригационных и энергетических водозаборных сооружений в Киргизии и Казахстане. Принцип действия затвора-автомата основан на уравнивании моментов действия сил гидростатического давления воды и противодействующих этому давлению сил веса затвора и веса специального противовеса (рис. 2).

Размеры взятой для примера наиболее крупной и сложной конструкции затвора ВСДГ-2 была определены на основании статического расчета.

Для каждой детали затвора определяется вес детали  $G_i$  и расстояния по вертикали и горизонтали от оси вращения затвора  $O$  до центра тяжести рассматриваемой детали. Также определялись статические моменты  $X_i G_i$  и  $Z_i G_i$  относительно оси  $O$  вращения затвора (см. рисунок 2) и их суммы  $\sum X_i G_i$  и  $\sum Z_i G_i$  [4].

В случае перемещения точки  $A$  приложения веса затвора влево от оси  $OZ$ , чтобы не произошло опрокидывания затвора, назначаем максимальный (предельный) угол его открытия  $\varphi$ , равный разности [4].

$$\varphi = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 44,5^\circ = 45,5^\circ. \quad (1)$$

Угол  $\alpha$  (см. рис. 2) между осью  $OX$  и отрезком  $OA$  определяется по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Z_\Sigma}{X_\Sigma} = \frac{0,863}{0,88} = 44,5^\circ. \quad (2)$$

Во избежание опрокидывания затвора необходимо на закладных элементах рамы разместить фиксаторы предельного угла открытия. Обычно открытие затвора на величину, больше расчетного угла возможно при неустановившемся движении водного потока в виде прямой волны, что часто наблюдается в руслах горных рек в начале паводкового периода и при селях.

С учетом монтажа и равномерного распределения нагрузки примем два одинаковых противовеса, расположенных по бокам на стойках затвора, выполненных из железобетонных блоков (колец) наружным диаметром 1,7 м путем заливки железобетонных колец весом  $G_6$ . В центре затвора предлагается устроить полый металлический противовес, который будет играть роль балластной емкости весом  $G_y$ .

Из условия опыта эксплуатации затворов аналогов вес одного противовеса будет равен:

$$G_6 = \frac{0,92G_{\text{пр}}}{2} = \frac{0,92 \times 14528}{2} = 6683 \text{ кг}. \quad (3)$$

На долю балластной емкости будет отводиться вес:

$$G_y = G_{\text{пр}} - 2G_6 = 9686 - 2 \times 6683 = 1162 \text{ кг}. \quad (4)$$

Длина боковых противовесов диаметром 1,7 м определяется по формуле:

$$l_{\text{пр}} = \frac{4G_6}{\pi d^2 \rho_{\text{жб}}} = \frac{4 \times 6683}{3,14 \times 1,7^2 \times 2500} = 1,18 \text{ м}, \quad (5)$$

где  $d$  – заданный диаметр противовеса;  $\rho_{\text{жб}}$  – плотность железобетона, принята равной  $2500 \text{ кг/м}^3$ .

#### Выводы

1. Центральный, балластный противовес затвора-автомата изготавливается в виде армированного металлического полого цилиндра с крышкой (используется листовая металл;  $t = 5 \text{ мм}$ ), диаметр которого равен диаметру боковых цилиндров, т.е. 1,7 м, с высотой цилиндра равной 0,5 м с учетом боковых стенок. После расчета веса металлоконструкции центрального цилиндра производится определение массы инертного материала (песок, камень) для догрузки до 1162 кг.

2. Затвор-автомат устанавливается в речном пролете 10 (см. рис. 1) и закрепляется в подшипниках рамы, которая закладывается в промежуточных бычках. Рама в своей конструкции имеет анкера, погружаемые в бетон на дне речного пролета и в верхней части промежуточных бычков. Для фиксации предельного открытия затвора автомата на верху бычков устраиваются ограничители, предотвращающие поворот консоли затвора на угол более  $45^\circ$  от горизонтального положения. Такая конструкция противовеса удобна тем, что центральный цилиндр можно догружать на месте до момента закрытия затвора при меженных расходах реки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гидротехнические сооружения/ Н.П. Розанов, Я.В. Бочкарев, В.С. Лапшенков и др.; Под ред. Н.П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
2. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны/ Под ред. Н.П. Лаврова. – Бишкек: ИД «Салам», 2009. – 504 с.
3. Кузьмин С.А., Драницын Е.М., Фролова И.Е. Речные гидротехнические сооружения. Компонировка энергетических гидроузлов: – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 124 с.
4. Логинов Г.И. Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек. – Бишкек: Изд. «Кут-Бер», 2014. – 320 с.
5. Бухарцев В.Н., Лавров Н.П. Речные гидротехнические сооружения. Водозаборные и деривационные гидроузлы. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 112 с.

ПРОГНОЗ МОЩНОСТИ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
НА ОСНОВАНИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для наиболее экономичного использования водных ресурсов прибегают к регулированию стока водохранилища с помощью плотин, дамб и т.д. [1]. В течение года сток реки Обь (с. Белово) характеризуется своей неравномерностью, и нормальная подпорная отметка составляет 198 м, а полезный объем – 6 км<sup>3</sup>. Это используют для того, чтобы приспособить режим выработки электрической энергии и режим водоотдачи к требованиям потребителей потребностям орошения, водоснабжения, рыбного хозяйства и судоходства соответственно [2–5].

Для выяснения оптимальных условий использования водных ресурсов производят расчёты, характеризующие возможный режим работы водохранилищ и гидроэлектростанций, которые влияют на расчеты прочности конструктивных элементов и их устойчивости [6–8]. В области гидроэнергетики задача сводится к получению наибольших величин гарантированной мощности, гарантированной и полной выработки энергии гидроэлектростанции [4].

Целью работы является выполнение расчета мощности на основе исторических данных за определенный период времени и оценка мощности выработки электроэнергии.

Результаты работы отображают распределение мощности по времени, а также гарантированную мощность выработки, значение которой необходимо для планирования энергетических расходов местной инфраструктуры.

Для выполнения анализа было необходимо построить график кривой связей уровней и объемов водохранилища (рис. 1), а также кривую обеспеченности зарегулированной мощности водотока (рис. 2) [1].

Полный объем водохранилища  $V_{\text{полн}} = 10,5 \text{ км}^3$  соответствует на кривой связи значению НПУ. По графику определяем мертвого объема  $V_{\text{мо}} = 4,5 \text{ км}^3$  при УМО = 194,2 м (рис. 1).

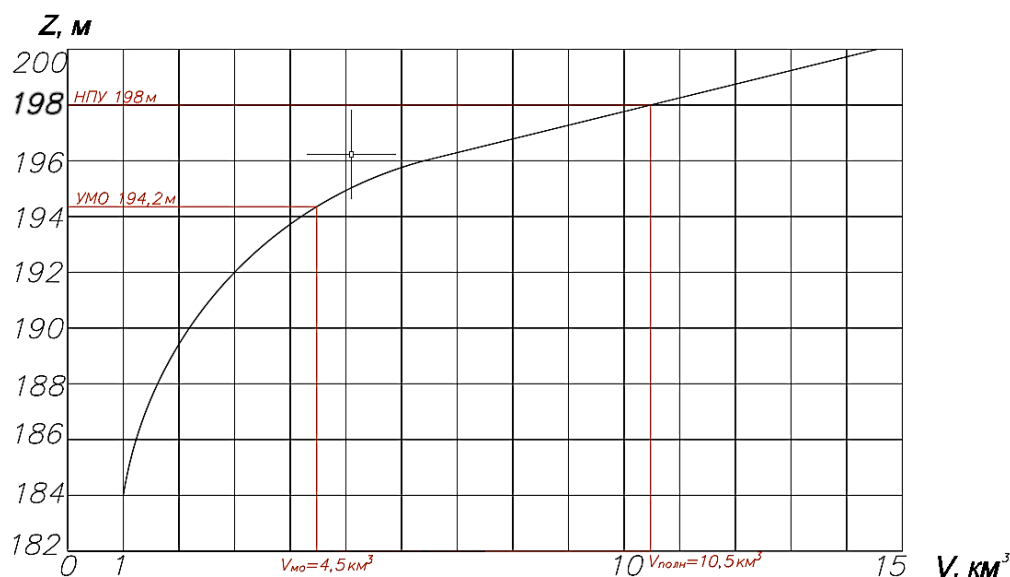


Рис. 1. Кривая связей уровней и объемов водохранилища

Исходные данные для построения хронологических графиков для характерных лет наблюдений такие, как значения объёмов, уровней воды, напора и подсчёт мощности ГЭС представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные для построения хронологических графиков

Год	Месяц	$V_{\text{полн}}$ , км <sup>3</sup>	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$Z_{\text{вб}}$ , м	$Z_{\text{нб}}$ , м	$H_{\text{стат}}$ , м	$H$ , м	$N$ , МВт
2007-2008 (многоводный)	5	0,00	1700	194,20	139,39	54,81	53,17	798
	6	6,00	5100	198,00	141,55	56,45	54,76	822
	7	6,00	3070	198,00	140,26	57,74	56,01	841
	8	6,00	1570	198,00	139,31	58,69	56,93	789
	9	6,00	1365	198,00	139,18	58,82	57,06	688
	10	6,00	972	198,00	138,93	59,07	57,30	492
	11	6,00	861	198,00	138,86	59,14	57,37	436
	12	6,00	705	198,00	138,76	59,24	57,47	358
	1	4,91	705	197,31	138,76	58,55	56,80	354
	2	3,42	705	196,37	138,76	57,61	55,88	348
	3	0,77	705	194,69	138,76	55,93	54,25	338
	2006-2007 (средневодный)	4	0,00	1700	194,20	139,39	54,81	53,17
5		4,29	1700	196,92	139,39	57,53	55,80	838
6		6,00	3010	198,00	140,22	57,78	56,05	841
7		6,00	2990	198,00	140,21	57,79	56,06	841
8		6,00	1880	198,00	139,50	58,50	56,74	852
9		6,00	760	198,00	138,79	59,21	57,43	385
10		6,00	610	198,00	138,70	59,30	57,52	310
11		6,00	565	198,00	138,67	59,33	57,55	287
12		5,63	565	197,77	138,67	59,10	57,32	286
1		4,47	565	197,03	138,67	58,36	56,61	282
2		2,01	565	195,47	138,67	56,80	55,10	275
3		1,30	565	195,02	138,67	56,36	54,66	273
2005-2006 (маловодный)	4	0,00	1483	194,20	139,15	55,05	53,40	699
	5	3,95	1483	196,70	139,15	57,55	55,83	731
	6	6,00	1483	198,00	139,15	58,85	57,09	747
	7	6,00	1270	198,00	139,03	58,97	57,20	641
	8	6,00	1150	198,00	138,97	59,03	57,26	581
	9	6,00	611	198,00	138,67	59,33	57,55	310
	10	6,00	565	198,00	138,65	59,35	57,57	287
	11	5,53	565	197,70	138,65	59,06	57,29	286
	12	5,00	565	197,37	138,65	58,72	56,96	284
	1	2,92	565	196,05	138,65	57,40	55,68	278
	2	2,16	565	195,57	138,65	56,92	55,22	275
	3	0,00	590	194,20	138,66	55,54	53,87	281

Значения статического напора для каждого месяца характерного года определяем по формуле:

$$H_{\text{стат}} = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нб}},$$

где  $Z_{\text{вб}}$  – уровень верхнего бьефа. В каждый момент времени определяются по кривой связи  $Z_{\text{вб}} = f(V_{\text{полн}})$ ;  $Z_{\text{нб}}$  – уровень нижнего бьефа. Определяются расходами, поступившими в НБ, независимо от того, идут ли они через турбины ГЭС или через водосброс. Для определения отметок уровня НБ используется кривая связи  $Z_{\text{нб}} = f(Q)$ .

Напор  $H$  в каждый момент времени равен разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах за вычетом потерь напора  $\Delta h$  на вход и по длине водопроводящего тракта:

$$H = Z_{\text{вб}} - Z_{\text{нб}} - \Delta h,$$

Зарегулированные мощности в каждый момент времени определяются по формуле:

$$N = 9,81QH\eta,$$

где  $Q$  – зарегулированный расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – соответствующий напор, м;  $\eta$  – коэффициент полезного действия ГЭС.



Кривая обеспеченности зарегулированной мощности водотока (рис. 2) построена с использованием данных, представленных в таблице 1.

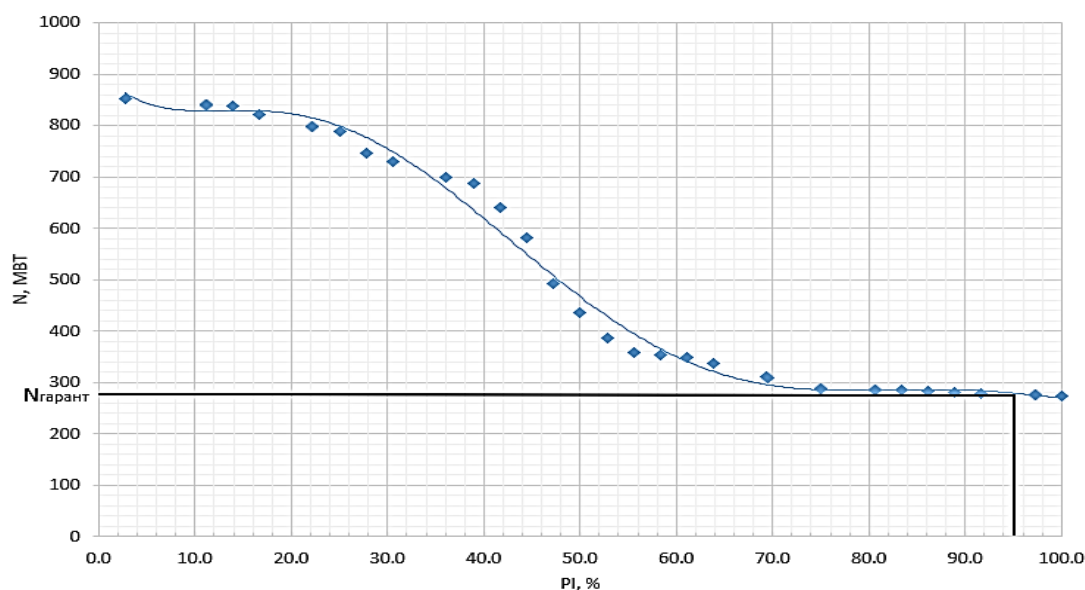


Рис. 2. Кривая обеспеченности зарегулированной мощности водотока

Кривая обеспеченности зарегулированной мощности отражает значение гарантированной мощности (95% обеспеченностью),  $N_{\text{гарант}} = 280$  МВт.

Значение среднегодовой выработки энергии по формуле [1]:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.год.}} = N_{\text{гарант}} t_{\text{час}}^{\text{год}} = 280 \cdot 8760 = 2452,8 \text{ ГВт} \cdot \text{ч},$$

где  $t_{\text{час}}^{\text{год}}$  – число часов в году, равно 8760, учитывая, что ГЭС работает круглый год.

*Выводы.* В результате выполнения работы проанализированы данные и произведена оценка зарегулированной мощности водотока р. Обь (с. Белово). Были произведены расчеты характеристик водохранилища и мощности ГЭС, и получены следующие результаты: УМО = 194,2 м;  $V_{\text{мо}} = 4,5 \text{ км}^3$ ;  $V_{\text{полн}} = 10,5 \text{ км}^3$ ; гарантированная мощность  $N_{\text{Г}} = 280$  МВт; среднегодовая выработка  $\mathcal{E}_{\text{ср.год.}} = 2452,8 \text{ ГВт} \cdot \text{ч}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Еременко К.В. Фильтрационный расчёт грунтовой плотины Мельничной МГЭС мощностью 412 квт в Карелии в среде PLAXIS / К.В. Еременко, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 23–25.
2. Заиров Х.И., Кудряшева И.Г. Теоретические основы нетрадиционной энергетики. Водозенергетические расчеты: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 60 с.
3. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016 – 421 с.
4. Васильев Ю.С. Использование водной энергии. Учебник для вузов. Под ред. Васильева Ю.С. М-СПб.: Энергоатомиздат, 1995. – 608 с.
5. Васильев Ю.С., Елистратов В.В. Гидротехнические установки. Краткий конспект лекций. СПб.: Изд-во СПбГПУ, – 2011. – 128 с.
6. Шарапов Д.А. Развитие методов оценки ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения / Д.А. Шарапов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 6(116). – С. 92-97. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-6-92-97.
7. Примак Н.В. Выбор оптимального количества ребер сегментного затвора методом КЭ / Н.В. Примак, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 69–71.
8. Шарапов Д.А. Устойчивость каменной наброски к подвижкам льда методом КЭ / Д.А. Шарапов, А.С. Сумцова // Гидротехническое строительство. – 2023. – № 2. – С. 2–7.

## ПОДБОР ОТБОЙНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КРУПНОТОННАЖНОГО БАЛКЕРА КЛАССА CAPE SIZE

В настоящее время в категории сухогрузных перевозок особый интерес представляют балкеры размера «Capesize» – крупнотоннажные грузовые суда, являющимися одними из самых габаритных сухогрузов в мире, которые из-за своих больших размеров не в состоянии пройти через Суэцкий и Панамский каналы. Суда типа «Capesize» имеют дедвейт от 160 000 до 210 000 т. Основное количество балкеров данного размера составляют крупнотоннажные зерновозы и рудовозы со средним дедвейтом 175 000 т, длиной корпуса 289 м, шириной 45 м, осадкой 17,9 м и имеют 9 грузовых трюмов [1]. Из-за своих огромных размеров балкеры работают в основном на глубоководных маршрутах между странами и континентами, ключевой направленностью которых является сотрудничество с азиатскими странами.

Однако большие размеры данных балкеров подразумевают наличия специализированного причального оборудования, в том числе отбойных устройств. Причальные отбойные устройства являются критически важными системами безопасности, защищающими людей, окружающую среду, суда и сооружения от возникновения опасных ситуаций. Аварии портовых гидротехнических сооружений, как правило, происходят из-за недостаточной изученности природных условий в районе строительства, ошибок в процессе строительства, а также неправильного выбора конструкционных материалов и технических решений [2–5]. На протяжении всего срока службы, даже в самых жестких условиях отбойные устройства должны быть готовы в любой момент, когда возникнет необходимость, выполнить свои функции в полном соответствии с требованиями безопасности [6].

Цель настоящей работы заключается в расчете нагрузки при подходе балкера класса «Capesize» Mineral Yangfan и подборе отбойного устройства в соответствии с СП 38.13330.2018 [7] и Руководством по проектированию ShibataFenderTeam [8] в рамках выпускной квалификационной работы.

Подбор кранца для отбойного устройства в приоритете будет произведен среди кранцев типа SPC («Суперкруг»), который отличается от других конической формой и полностью заделанными в резину монтажными фланцами. Основными преимуществами данного типа кранцев считается высокая прочность и износостойкость, а также широкий диапазон рабочих температур и устойчивость к агрессивным средам: кранцы не подвержены воздействию кислот, щелочей и других агрессивных веществ, что позволяет использовать их в самых разнообразных условиях [9].

Отметка дна у проектируемого причала эстакадного типа составляет -20,5 м, уровень воды находится на отметке -0,4 м в Балтийской системе высот 1977 года, тип акватории – открытый, простые условия швартовки; присутствует система контроля над перемещениями судна и его скоростью. Причаливание осуществляется на четверть длины, угол подхода судна к причалу составляет 5 градусов.

Характеристики расчетного судна Mineral Yangfan представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики расчетного судна Mineral Yangfan [10]

Дедвейт $DW$ , тыс. т	Длина $L$ , м	Ширина $B$ , м	Высота борта $F$ , м	Осадку в грузу $D_L$ , м	Водоизмещение $W$ , т
210	300	50	25	18,5	231158

Результат расчета энергии навала согласно [7] представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет энергии навала судна

Коэф-т эксцентриситета $c_e$	Коэф-т сквозности причала $c_c$	Коэф-т жесткости $c_s$	Коэф-т, учитывающий условия швартовки и конструкцию прич. сооружения $\Psi$	Нормальная сост. скорости подхода судна $V_n$ , м/с	Кинетическая энергия навала судна $E_q$ , кДж
0,59	1,0	1,0	1,06	0,094	1073 кДж

Энергия  $E_A$ , кДж, которую должен погасить отбойник, с учетом случайных столкновений, ошибок персонала, неисправностей, комбинации этих факторов определяется по формуле [7]:

$$E_A = \gamma_s E_q = 1,0 \cdot 1073 = 1073 \text{ кДж},$$

где  $\gamma_s$  – коэффициент безопасности, принимаемый по таблице М.2 Приложения М [7], так как на проектируемом причальном сооружении предполагается система контроля над перемещениями судна и его скоростью, принимаем  $\gamma_s = 1$ .

По полученному значению энергии навала принимаем отбойное устройство (ОУ) SPC 1400 G2.0 с номинальными характеристиками  $E_{RPD} = 1332$  кДж (энергия),  $R_{RPD} = 1817$  кН (реакция), степень сжатия отбойного устройства 0,7 [9]. Количество ОУ, работающих совместно при подходе судна, принимается равным одному.

Результаты определения расчетной энергии и реакции ОУ представлен в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Определение энергии подобранного отбойника

Температурный коэф-т	Угловой коэф-т	Коэф-т скорости	Допуск на изготовление, для формованных резиновых ОУ	Расчетное значение энергии $E_F$ , кДж
0,986	1,0	0,996	0,9	1177

Расчетное значение энергии отбойного устройства  $E_F$  должно быть не менее кинетической энергии навала судна с учетом случайных столкновений и ошибок  $E_A$ :

$$E_F = 1177 \text{ кДж} \geq 1073 \text{ кДж} = E_A.$$

Условие выполнено, отбойное устройство подобрано верно.

Таблица 4 – Определение реакции подобранного отбойника

Температурный коэф-т	Угловой коэф-т	Коэф-т скорости	Допуск на изготовление, для формованных резиновых ОУ	Расчетное значение реакции $R_F$ , кН
1,288	1,0	0,996	1,1	2564

Значения величин энергии и реакции по результатам подбора отбойного устройства SPC 1400 G2.0 сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Номинальные и расчетные значения принятого отбойного устройства

Номинальные значения		Расчетные значения	
Энергия $E_{RPD}$ , кДж	Реакция $R_{RPD}$ , кН	Энергия $E_F$ , кДж	Реакция $R_F$ , кН
1332	1817	1177	2564

Принимаем панель размерами прямолинейной части 3,2×4,3 м. Размеры контакта панели с бортом судна 3,2×4,02 м, площадь составляет 12,86 м<sup>2</sup>.

Выполним проверку давления на корпус судна осуществляется по формуле:

$$P = \frac{R}{S} = \frac{2564}{12,86} = 198,0 \leq 200 = P_{\text{доп}},$$

где  $P$  – давление на корпус судна, кН/м<sup>2</sup>;  $R$  – реакция отбойного устройства, кН;  $S$  – площадь контакта плоской части панели, м<sup>2</sup>;  $P_{\text{доп}}$  – допустимое давление на корпус судна, принимаем для балкеров  $P_{\text{доп}} = 200$  кН/м<sup>2</sup> согласно PIANC [8].

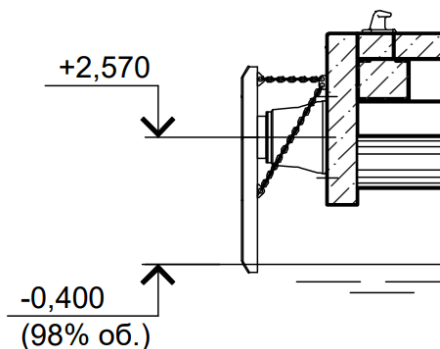


Рис. 1. Принятое отбойное устройство на фрагменте разреза

Условие прочности выполнено.

Окончательно принимаем на проектируемый причал эстакадного типа установку отбойных устройств SPC Cone Fenders 1400 G2.0 [9] (рис. 1) с панелью размером 3,2×4,3 в прямолинейной части.

По полученным результатам можем сделать *вывод*, что подобранное отбойное устройство из кранца SPC Cone Fenders 1400 G2.0 и щита размером 3,2×4,3 м выполняет условия по поглощению энергии и допустимого давления на борт для крупнотоннажного судна класса «Capesize».

Для окончательного обеспечения безопасности подхода судов к сооружению необходимо назначение расстояния между отбойными устройствами. Определение шага будет произведено в рамках дальнейших исследований для нескольких расчетных судов с выбором минимального расстояния.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Классификация транспортных судов по размерам // ShipsHub: электрон. ресурс. – URL: <https://shipshub.com/ru/article/1823-1.html> (дата обращения 18.01.2024).
2. Беляев Н.Д. Причины аварий причальных сооружений. // Предотвращение аварий зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 3. – Магнитогорск : МГТУ, 2003. – С. 34–39.
3. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
4. Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Олехнович Я.А., Ялышев А.И. Анализ дефектов причальных и берегоукрепительных сооружений по результатам обследований 2013 г. XLII Неделя науки СПбГПУ. Материалы НПК. НОЦ ВИЭ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. С. 85–88.
5. Малеванов К.А., Беляев Н.Д. Характерные повреждения причалов типа «больверк» и мероприятия по их устранению. XXXII Неделя науки СПбГПУ. Ч. I. Материалы межвузовской НТК. . СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2004. С. 17–19.
6. Руководство по установке, эксплуатации и техническому обслуживанию // ShibataFenderTeam: электрон. ресурс. – URL: <https://www.shibata-fender.team/files/content/Downloads/SFT-IOM-A4-Russian.pdf> (дата обращения 18.01.2024).
7. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 августа 2018 г. N 531/пр : дата введения 2019-02-17 / разработан АО «ВНИГ м. Б. Е. Веденеева». – М.: Стандартинформ, 2019.
8. Руководство по проектированию // ShibataFenderTeam: электрон. ресурс. – URL: <https://www.shibata-fender.team/files/content/Downloads/SFT-Design-Manual-A4-Russian-2019.pdf> (дата обращения 18.01.2024);
9. Products // ShibataFenderTeam: электрон. ресурс. – URL: [https://www.shibata-fender.team/files/content/Downloads/SFT\\_Product\\_Catalogue\\_A4\\_English.pdf](https://www.shibata-fender.team/files/content/Downloads/SFT_Product_Catalogue_A4_English.pdf) (дата обращения 18.01.2024);
10. Mineral Yangfan // VesselFinder : электрон. ресурс. – URL: <https://www.vesselfinder.com/ru/vessels/details/9738571> (дата обращения 18.01.2024).

АНАЛИЗ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
УСТРОЙСТВА OBREC В СОСТАВЕ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Цель работы* – изучение инновационных технологий при строительстве берегозащитных и оградительных сооружений в мире и анализ целесообразности их применения в России.

В работе рассматриваются многофункциональные прибрежные сооружения, предназначенные как для защиты акваторий и берегов, так и для производства энергии.

Предпосылками для использования таких сооружений являются:

1. В соответствии с Парижским соглашением от 12 декабря 2015 г. о необходимости уменьшения выбросов углекислого газа были разработаны комплексные подходы для сохранения экосистем, минимизации социальных и экологических последствий.

2. Отсутствие достаточных источников энергии и застроенность основных территорий стран, имеющих выход к морю.

Одним из примеров рассматриваемых конструкций является оградительное сооружение с устройством выработки электроэнергии OBREC [1]. Данное сооружение представляет собой традиционное оградительное сооружение из бутовой кладки с верхним бетонным строением, состоящим из пандуса, за которым на отметке выше уровня спокойной воды расположен резервуар. По идущей из резервуара трубе вода, накопленная при воздействии набегающих волн, поступает на турбины машинного отделения.

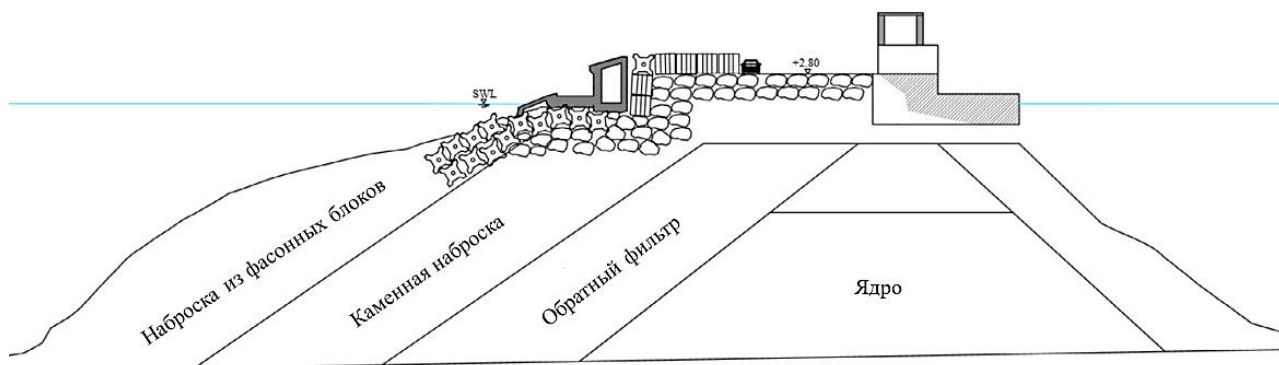


Рис. 1. Разрез установки OBREC

В целом объект состоит из двух секций, которые различаются в основном отметкой порога. Более низкая предназначена для захвата наиболее частых волн, а высокая – наиболее высоких. Мощность, получаемая системой в течение года, при использовании только одного отверстия диаметром 0,25 м, равны 3717,27 кВтч и 3642,46 кВтч для частоволнового (NW-LAB) и высоковолнового отверстий (RS-LAB), соответственно при высоте волн от 0,25 до 3,75 м.

Важными критериями для выбора предполагаемого местоположения объекта в России являются технико-экономический и энергетический факторы. Целесообразнее всего выбрать регионы с незамерзающими побережьями и недостатком электроэнергии.

На начало 2024 г. Дальний Восток технологически изолирован от единой энергетической системы России. В соответствии с приоритетами программы «Социально-экономическое развитие Дальневосточного федерального округа» [2] и «Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года» [3] необходимо обеспечить больше объектов возобновляемых источников энергии. Кроме того, экономический разворот России в сторону азиатских стран способствует к возрастанию спроса на электропотребление.

Таким образом, Дальний Восток является перспективным регионом развития возобновляемой энергетики. Одним из субъектов Российской Федерации, нуждающимся в большом количестве электроэнергии до 2030 года является Хабаровский край [4].

В работе рассматривается применение устройства ОБРЕС в Хабаровском крае, большая часть территории которого находится на побережье 1 района Охотского моря [5].

Для нахождения вырабатываемой энергии необходима частота волн характерных высот, на основании данных [5] строится график плотности вероятности распределения высот волн 3%-ой обеспеченности в безледный период (рис. 2).

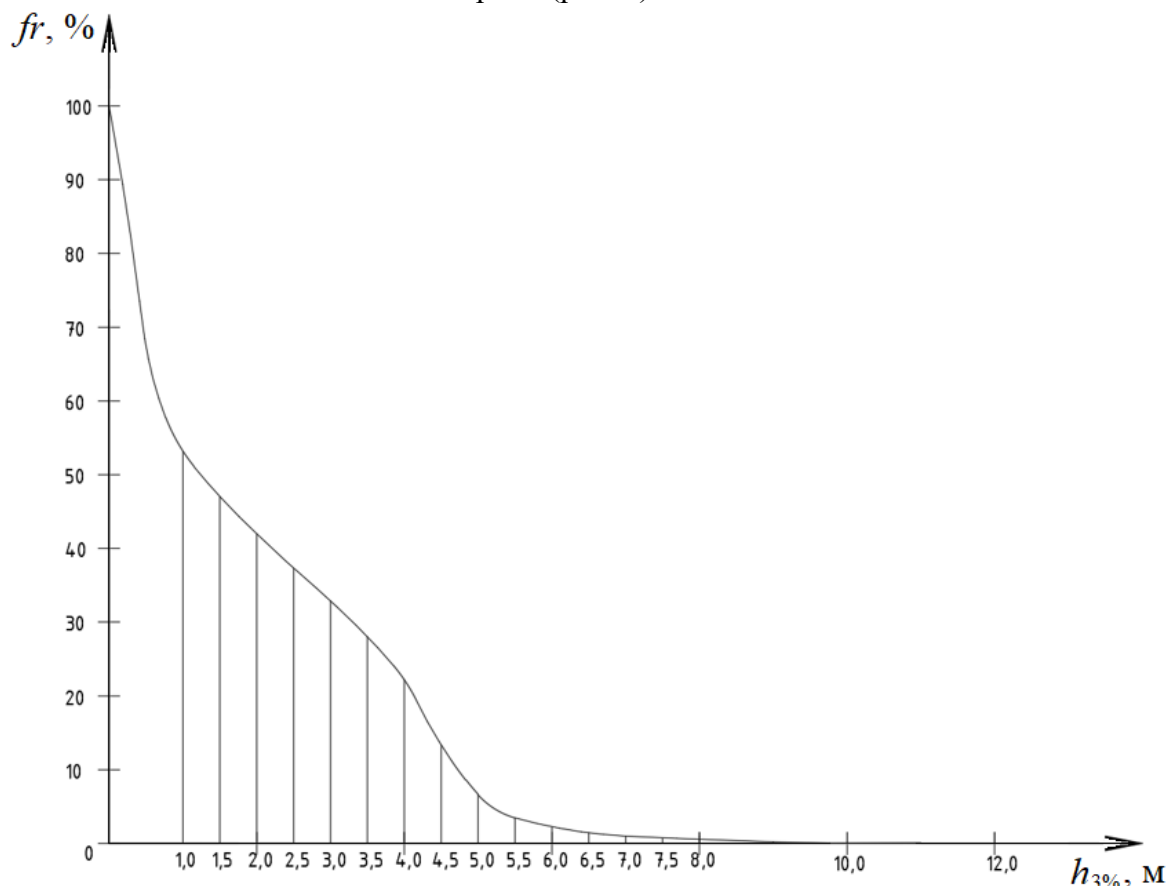


Рис. 2. График плотности вероятности распределения высот волн 3%-ой обеспеченности

Мощность гидроэнергетической установки определяется выражением [6]:

$$N_{гi} = 9,81pQ_iH_i\eta, \quad (1)$$

где  $p$  — плотность жидкости, принимается  $1027 \text{ кг/м}^3$ ;  $Q_i$  — расход воды через гидротурбину, определяемый испытаниями [1];  $H_i$  — напор воды, подведенный к гидротурбине;  $\eta$  — КПД гидроагрегата, принимается  $0,9$ .

Напор воды, подведенной к гидротурбине, определяется по следующей формуле:

$$H_i = h + dh, \quad (2)$$

где  $h$  — разность между уровнем воды, входящей в трубу и уровнем подвода к колесу турбины генератора, принимается  $0,7$  м для NW-LAB и  $1,25$  для RS-LAB;  $dh$  — гидравлический напор, создаваемый в шунтирующем баке.

Используя формулы (1) и (2), составим таблицу 1 для нахождения энергии, вырабатываемой за год в кВт·час. Так как данные  $Q_i$  и  $dh$  для установки ОБРЕС были получены лабораторными методами для условий побережья Неаполя и данные величины имеют нелинейный характер [1], то невозможно полностью задействовать все частоты появления волн различной величины в Охотском море.

Таблица 1 – Значения вырабатываемой энергии

		NS-LAB				RS-LAB			
$H_s$ , м	$fr$	$dh$ , м	$Q_i$ , м <sup>3</sup> /с	$N_{Гi}$ , кВт	$E_{год}$ , кВт·ч	$dh$ , м	$Q_i$ , м <sup>3</sup> /с	$N_{Гi}$ , кВт	$E_{год}$ , кВт·ч
< 1,0	0,3545	–	–	–	–	–	–	–	–
1,25 (1,0–1,5)	0,1251	0,10	0,029	0,210	230,5	0,05	0	0	0
1,75 (1,5–2,0)	0,1122	0,20	0,102	0,832	818,1	0,16	0,0226	0,321	315,5
2,25 (2,0–2,5)	0,0997	0,27	0,170	1,495	1305,9	0,30	0,09	1,405	1227,5
2,75 (2,5–3,0)	0,0865	0,31	0,296	2,711	2054,1	0,40	0,193	3,208	2431,1
3,25 (3,0–3,5)	0,0779	0,36	0,364	3,499	2387,4	0,51	0,214	3,795	2589,4
3,75 (3,5–4,0)	0,0649	0,37	0,415	4,026	2289,1	0,54	0,324	5,843	3321,9
4,25 (4,0–4,5)	0,0343	–	–	–	–	–	–	–	–
4,75 (4,5–5,0)	0,0175	–	–	–	–	–	–	–	–
5,25 (5,0–5,5)	0,0087	–	–	–	–	–	–	–	–
5,75 (5,5–6,0)	0,0057	–	–	–	–	–	–	–	–
6,25 (6,0–6,5)	0,0045	–	–	–	–	–	–	–	–
6,75 (6,5–7,0)	0,0029	–	–	–	–	–	–	–	–
7,25 (7,0–7,5)	0,0021	–	–	–	–	–	–	–	–
7,75 (7,5–8,0)	0,0015	–	–	–	–	–	–	–	–
9 (8,0–10,0)	0,0020	–	–	–	–	–	–	–	–
11 (10,0–12,0)	0,0005	–	–	–	–	–	–	–	–
> 12,0	0,0002	–	–	–	–	–	–	–	–
Сумма	1,0			12,77	9085,1			14,57	9885,5

Полученные значения для высот волн от 0 до 4 м составляют 92,08% от всех волн, следовательно, полученные значения вырабатываемой энергии будут еще больше.

Энергия волн, захватываемая NS-LAB способна произвести за год 9085,1 кВт·ч, выработка от RS-LAB составляет 9885,5 кВт·ч. Суммарная выработка установки для 92,08% случаев волн составляет 18970,6 кВт·ч.

#### Выводы

Рассмотренное устройство уже находят применение в европейских государствах при нехватке электроэнергии. Для России в целом применение такого типа не является целесообразным, однако при решении вопросов энергообеспечения северных и отдаленных районов рассмотренная конструкция может быть альтернативой ветроэлектрическим установкам и тем более и дизельным генераторам.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Palma G., Contestabile P., Zanuttigh B., Formentin S.M., Vicinanza D. Integrated assessment of the hydraulic and structural performance of the OBREC device in the Gulf of Naples, Italy. DOI: 10.1016/j.apor.2020.102217
2. Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 г. и на перспективу до 2035 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24.09.2020 № 2464-р.
3. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р.
4. Новости губернатора. Администрация городского округа «Город Хабаровск», Министерство энергетики. 07.03.2023. URL: <https://khabkrai.ru/events/news/194957?version=special>
5. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Дегтярев А.Б., Рожков В.А. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. Российский Морской Регистр Судоходства. 2003. 213 с.
6. Васильев Ю.С., Саморуков И.С., Хлебников С.Н. Основное энергетическое оборудование гидроэлектростанций. Состав и выбор основных параметров: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 134 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЬДА В КАЧЕСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

*Цель работы* – провести анализ свойств льда, льдокомпозитов и определить их возможное применение в качестве строительного материала.

В *задачи* данного исследования входит изучение имеющихся исследований по определению прочности льда, льдокомпозитов и анализ возможностей использования льда при строительстве морских стационарных сооружений.

Применение чистого льда в качестве строительного материала

При возникновении упругих деформаций лёд проявляет себя как изотропный материал, однако при пластических деформациях лёд проявляет анизотропные свойства [1].

Лёд может разрушаться пластичным или хрупким образом: при низких скоростях деформации лёд деформируется пластично, а при достижении критической величины нагрузки, лёд начинает разрушаться хрупким образом [2].

В различных исследованиях при хрупком разрушении прочность льда на растяжение варьируется от 0,7 до 3,1 МПа, а прочность льда на сжатие составляет от 5 до 25 МПа. Такой разброс связан с зависимостью прочности льда от его температуры, скорости деформации и размеров зёрен.

По результатам испытаний [2], можно выделить следующие характеристики льда:

- прочность льда на сжатие обратно пропорциональна его температуре. В диапазоне от 0 до  $-40$  °С прочность льда увеличилась в четыре раза: с 8 до 35 МПа;
- прочность льда на растяжение обратно пропорциональна его температуре, однако в меньшей степени, чем прочность на сжатие. В диапазоне от 0 до  $-40$  °С прочность льда увеличилась в 1,3 раза: с 2,3 до 3 МПа.
- прочность льда на сжатие прямо пропорциональна скорости деформации льда. При больших скоростях деформации лёд разрушается хрупким образом, а при средних и низких скоростях лёд деформируется пластично.
- прочность льда на растяжение практически полностью не зависит от скорости деформации.
- прочность льда на растяжение обратно пропорциональна размеру зёрен льда.

При хрупких деформациях свойства льда схожи со свойствами керамических материалов. Однако, прочность на разрыв, растяжение значительно ниже свойств аналогичных керамических материалов.

Лёд так же является крайне ползучим материалом. Вязкостное разрушение льда происходит при  $50\text{--}150$  КПа  $\text{м}^{1/2}$  [3]. К примеру, вязкостное разрушение стекла происходит при  $700\text{--}1000$  КПа  $\text{м}^{1/2}$ .

Анализ характеристик льда показывает, что чистый лёд не способен заменить бетон ни по прочности на сжатие, ни на растяжение. Помимо этого, лёд является значительно более ползучим материалом, а также его свойства сильно зависят от температуры.

Улучшение прочностных характеристик льда

Существуют различные способы армирования льда для улучшения его характеристик: использование стекловолокна, георешёток, текстиля, песка, гравия, стали. Но самым распространённым и изученным способом улучшения характеристик льда является пайкерит [4]. Пайкерит – это замороженный композитный материал, изготовленный из опилок или какой-либо другой древесной массы (например, бумаги) и льда [5].

По результатам испытаний на прочность, среди льда и льдокомпозитов с добавлением древесной щепы, древесной стружки и древесной пыли, лучшими результатами обладают



образцы с добавлением 10,5% древесной пыли. Их значения прочности на изгиб и на сжатие составляют 3,7 и 12,4 МПа соответственно, что в три раза больше, чем прочность на сжатие обычного льда: 1,24 и 3,18 МПа соответственно [6]. Результаты испытаний представлены на рис. 1 и 2.

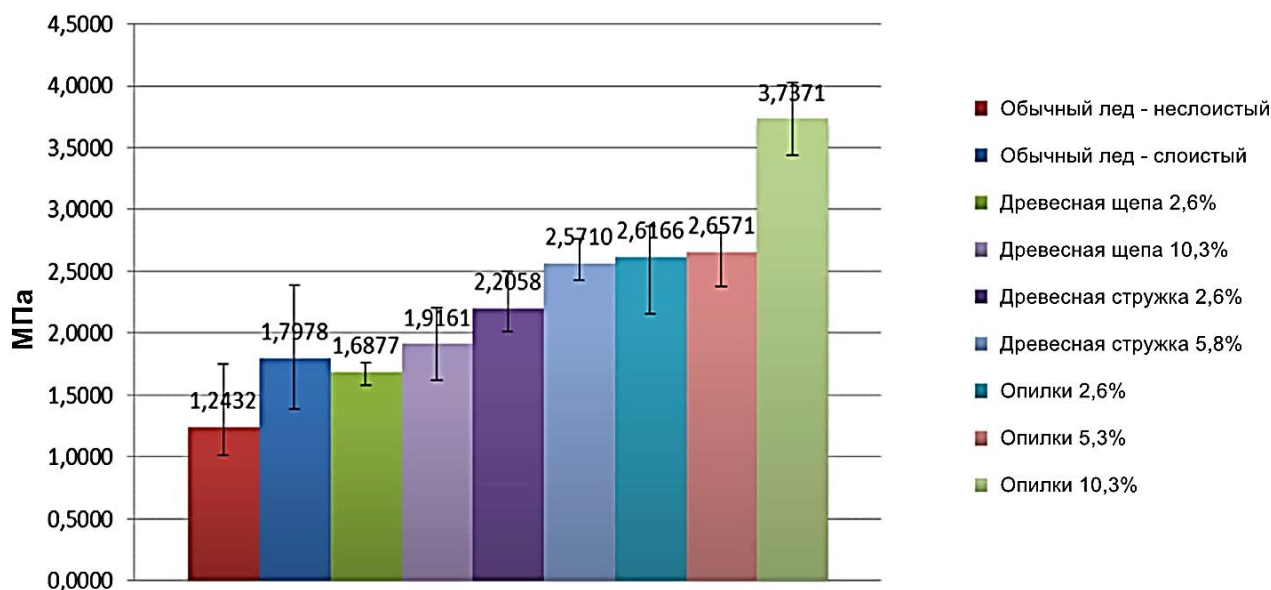


Рис. 1. Прочность на изгиб образцов простого льда и пайкерита [6]

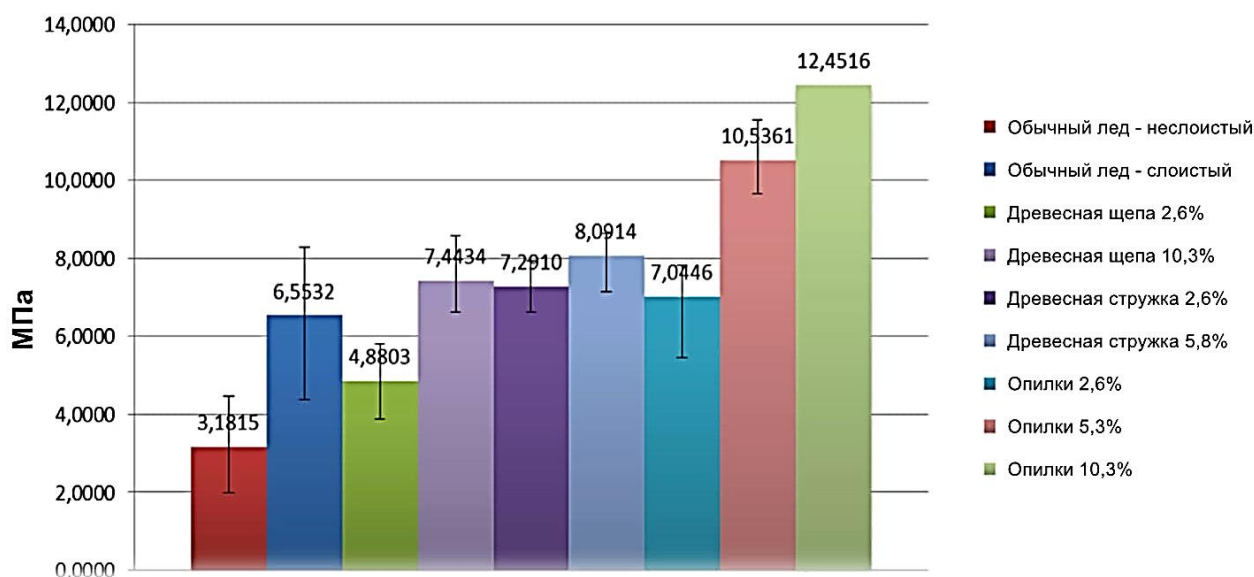


Рис. 2. Прочность на изгиб образцов простого льда и пайкерита [6]

Улучшение характеристик прочности материала происходит из-за наличия древесной пыли, которая препятствует распространению трещин. Помимо этого, тратится дополнительная энергия на вытягивание волокон из льдокомпозита [7]. Так же, у льдокомпозита значительно снижается ползучесть и скорость таяния, и он меньше подвержен тепловому удару по сравнению со льдом [6].

### Сравнение характеристик пайкерита и железобетона

Пайкерит рассматривается как альтернатива железобетону, поэтому в качестве материала для сравнения возьмём гидротехнический бетон класса В35. Его прочность на сжатие составляет 45 МПа [8], что более чем в три раза превышает прочность на сжатие пайкерита. Предел прочности бетона В35 на изгиб примем с использованием коэффициента перехода  $K = 0,12$  [9]. Тогда прочность на изгиб составляет 5,4 МПа, что в 1,4 раза больше прочности на изгиб у пайкерита. А с применением армирования, прочность на изгиб железобетона значительно повысится.

### Использование льдокомпозитных материалов в гидротехническом строительстве

Используя пайкерит из пресного льда, можно возводить острова в северных морях России. Поскольку пресный лёд обладает большей прочностью, чем солёный [10], общая прочность такого острова будет выше прочности льдов, оказывающих на него нагрузку.

Ввиду сравнительно больших размеров островов создание их из воды представляется привлекательным так строительный материал практически бесплатный, замораживание происходит в естественных условиях окружающей среды, а затраты связаны лишь с доставкой пресной воды, внесением композитных примесей и установки армирующих решеток.

### Выводы

Чистый лёд пригоден в качестве строительного материала при постройке одноэтажных зданий в арктических регионах. Высокая хрупкость и текучесть льда являются проблемами при сооружении из него более сложных конструкций. Так же пресный лед можно использовать при возведении ледяных островов.

Пайкерит является более дешёвой альтернативой бетону. Однако, он обладает более низкой прочностью на сжатие и растяжение, чем бетон и при его применении в гидротехническом строительстве возникают дополнительные задачи, связанные с поддержанием материала в требуемом состоянии.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Bosnjak J., Bodrozic Coko N., Jurcevic M., Klarin B., Nizetic S. Use of reinforced ice as alternative building material in cold regions: an overview // 2023 Archives of Thermodynamics. – 2023. – №44(3). – С. 269–300.
2. Petrovic J.J. Review Mechanical properties of ice and snow // Journal of Materials Science. – 2003. – №38(1). – С. 1–6.
3. Andrews R.M. Measurement of the Fracture Toughness of Glacier Ice // Cambridge University Press. – 2017.
4. Vasiliev N.K., Pronk A.D.C. Ice composites as construction materials in projects of ice structures // 2015.
5. Kumbhar S.S., Kothawade S.Y., Waghmare A., Chavan T.D., Undre M.G. Ice as construction material by using pykrete // International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. – 2018. – №Vol.5, Issue 5. – С. 646–650.
6. Vasiliev N.K., Pronk A.D.C., Shatalina I.N., Janssen F.H.M.E., Houben R.W.G. A review on the development of the methods of ice and ice-soil reinforcement // 2015.
7. Васильев Н.К., Иванов А.А., Шаталина И.Н. Методы упрочнения и армирования льда для конструкций гидротехнических сооружений из ледяных и льдогрунтовых композитов // Вестн. НГУ. Сер. матем., мех., информ. – 2013 – 13:3 – с. 31–37;
8. Прочность бетона // Гамма группа компаний URL: <https://beton96.com/articles/post/prochnost-betona> (дата обращения: 02.03.2024).
9. ГОСТ 10180–2012. Методы определения прочности по контрольным образцам (2018) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. М.: Стандартинформ.
10. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) (2019) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. М.: Стандартинформ.

КОМПОНОВКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МАЛОЙ ГЭС  
НА КИРОВСКОЙ ПЛОТИНЕ, КЫРГЫЗСТАН

Известно, что экономический гидропотенциал Кыргызстана составляет 99 млрд кВт/ч в год, а заинтересованность России в развитии мощностей региональной гидроэнергетики как импортера электроэнергии, инвестора и поставщика оборудования делает развитие гидроэнергетики в Центральной Азии не только экономически целесообразным, но и стратегически важным для Российской Федерации [1].

Существующий Кировский ирригационный гидроузел, предназначенный для регулирования стока р. Талас, включает в себя бетонную гравитационную плотину и глубинный водовыпуск-водосброс с конусным затвором. Основной функцией гидроузла является максимальное наполнение водохранилища в зимний и весенний периоды эксплуатации для дальнейшего использования воды на орошение земель Кыргызстана и Казахстана.

В работе предлагается реконструкция гидроузла с целью комплексного использования энергии потока, сбрасываемого в нижний бьеф реки через глубинный водосброс.

*Цель работы* – разработать компоновку гидротехнических сооружений малой ГЭС (МГЭС) на существующей плотине Кировского водохранилища. *Общие задачи проекта*: 1) изучить природно-климатические и эксплуатационные характеристики объекта строительства; 2) определить состав, компоновку и произвести расчеты по обоснованию конструкций гидротехнических сооружений малой ГЭС [2]; 3) подобрать механическое оборудование МГЭС.

Рассмотрев варианты строительства приплотинной МГЭС и деривационной, в работе окончательно предлагается вариант деривационной МГЭС с напорной деривацией.

Согласно отчету изыскательных работ, топографические и гидрологические характеристики района строительства позволяют расположить здание электростанции в нижнем бьефе плотины вниз по течению реки на отметке 822,0 по центральной оси гидротурбин. Гидротурбины будут соединены напорным трубопроводом с глубинным водовыпускном-водосбросом водохранилища. На рис. 1 представлено компоновочное решение по местоположению и составу гидротехнических сооружений МГЭС на Кировской плотине. В соответствии с компоновочным решением здание станции располагается в 300,0 м от плотины вниз по течению р. Талас. Здесь участок долины имеет трапецеидальную форму с шириной основания ~ 125,0 м по направлению оси агрегатов. Это позволит увеличить действующий напор на разность отметки оси напорного водовода в его начальном сечении 5 (рис. 2), равную 833,1 м и отметки центральной оси турбины, равной 822,0 м. Приращение напора составит 11,1 м, что позволит увеличить мощность и выработку энергии малой ГЭС на 20,8 % без увеличения высоты плотины.

Конусный затвор 2 водовыпуска – водосброса (рис. 1) предлагается перенести ближе к телу плотины, чтобы отбрасываемая компактная водо-воздушная струя не достигала здания ГЭС 4 и открытого распределительного устройства (ОРУ) 6. Конусный затвор 2 начинает работать в летний период, когда расход водоподачи в нижний бьеф на ирригацию земель Таласской области Кыргызстана и Жамбылской области Казахстана превышает расчетный расход всех агрегатов малой ГЭС. Использование конусного затвора 2 может также понадобиться в случае остановки ГЭС в вегетационный период, чтобы не прерывать водоподачу на орошение с/х культур, как это происходит в настоящее время [3].

Для повышения эксплуатационной безопасности Кировского ирригационно-энергетического узла предлагается оснастить вход в водосброс 1 (рис. 2) плоским глубинным затвором, выполняющим роль ремонтно-аварийного затвора.

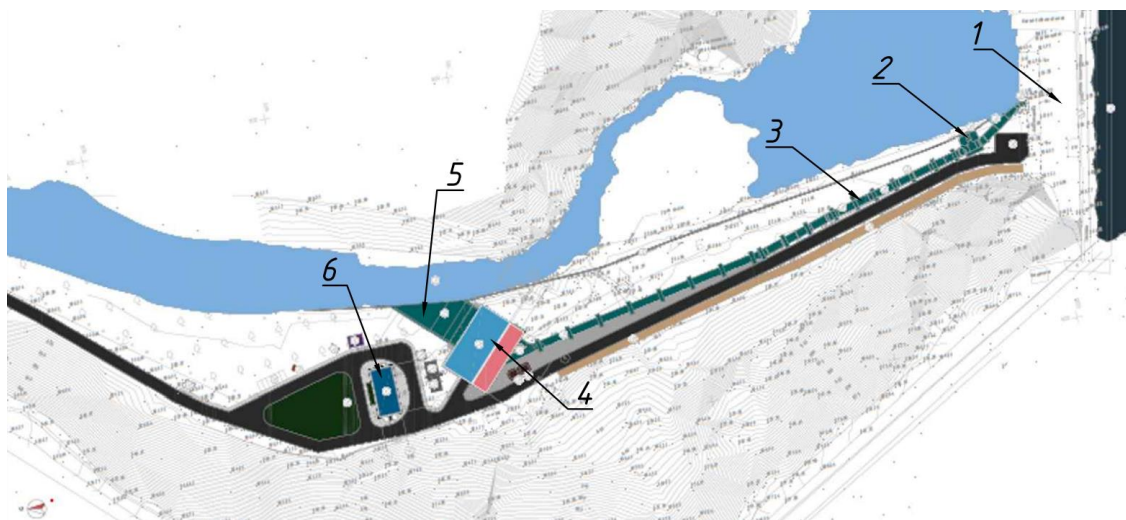


Рис. 1. Предлагаемая схема размещения сооружений МГЭС на Кировском гидроузле: 1 – тело бетонной плотины; 2 – устройство глубинного водосброса, оборудованного конусным затвором; 3 – напорный трубопровод; 4 – здание МГЭС; 5 – отводящий канал; 6 – ОРУ

Гидромеханическое оборудование Кировского гидроузла будет состоять из оборудования МГЭС и бетонной плотины.

Механическое оборудование МГЭС (рис. 2) включает в себя [4, 5]:

- напорный трубопровод 10;
- гидротурбины с регуляторами и с предтурбинными затворами 15;
- мостовой кран;
- оборудование для технического водоснабжения станции.

Механическое оборудование бетонной плотины включает в себя:

- сороудерживающую решетку на входе в водовыпуск-водосброс 1;
- затворы.

При диапазоне напора 30–65 м, и расхода водоподачи от 5,6–50,0 м<sup>3</sup>/с для МГЭС можно рассмотреть вариант использования радиально-осевой турбины (Френсиса) вертикального исполнения с двумя турбинами 2×20 м<sup>3</sup>/с и одной турбины 1×10 м<sup>3</sup>/с. Схема работы турбин такова: в зимние месяцы, при малых расходах МГЭС используется один агрегат мощностью 5 МВт, с диапазоном расхода от 5,0 до 10 м<sup>3</sup>/с; при больших расходах работают два агрегата по 10 МВт, диапазон водоподачи варьируется от 10 до 20 м<sup>3</sup>/с на каждый агрегат. В летнее время используются все три агрегата. В межсезонье агрегаты функционируют по имеющемуся водотоку.

Трасса стального трубопровода 10 проходит от узла примыкания 3 до здания станции 15 и имеет протяжённость 300,0 м (рис. 2). Данный трубопровод опирается на анкерные и промежуточные бетонные опоры, располагающиеся через 10–15 м.

Отводящий канал 16 располагается за зданием МГЭС, и продолжается до сопряжения с руслом р. Талас. Фиксирование отметок проектного дна русла реки на участке сопряжения выполнено с использованием крупного рваного камня диаметром не менее 0,8 м. Железобетонные вертикальные стенки отводящего канала устраиваются в виде отдельных блоков длиной не более 10 м. По длине железобетонных стенок через каждые 2,5 м устраиваются разгрузочные отверстия, армированные трубками  $d = 20$  мм, для сброса фильтрационных вод, подходящих с внешней стороны.

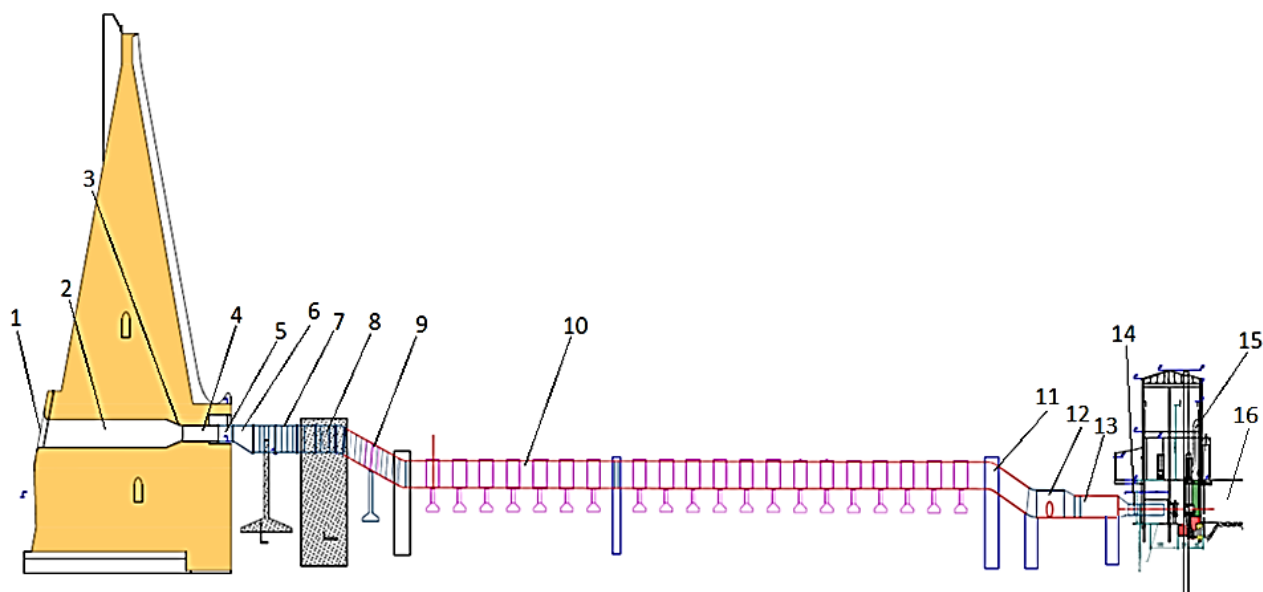


Рис. 2. Продольный разрез по длине глубинного водосброса плотины Кировского водохранилища, деривационного водовода и турбинных водоводов МГЭС: 1 – вход в водовыпуск–водосброс (4×4 м); 2 – участок водосброса квадратного сечения; 3 – конусное сужение водосброса от квадратного сечения к круглому ( $D = 2,2$  м); 4 – прямолинейный участок водосброса ( $D = 2,2$  м); 5 – плавный поворот водосброса – переходный участок от водосброса к деривационному трубопроводу; 6 – конусное расширение – диффузор; 7 – отводящий участок трубы; 8 – участок устройства конусного затвора; 9 – участок спуска трубопровода; 10 – транзитный участок деривационного трубопровода ( $D = 3,8$  м); 11 – участок подводящего узла к зданию МГЭС; 12 – распределительная труба; 13 – распределительный участок турбинных трубопроводов; 14 – конусное сужение; 15 – здание МГЭС; 16 – отводящий канал

### Выводы

1. Предложена компоновка гидротехнических сооружений МГЭС с целью комплексного использования энергии потока на существующем Кировском гидроузле в Кыргызстане;
2. Компоновка предполагает плотинно-деривационную схему создания напора, позволяющую увеличить мощность и выработку электроэнергии МГЭС по сравнению в приплотинной схемой;
3. Предложен тип и количество радиально-осевых гидротурбин МГЭС, определен режим их работы в течение года;
4. Установлено положение конусного затвора водосброса повышенной пропускной способностью деривационного трубопровода;
5. Определен основной перечень гидромеханического и механического оборудования сооружений гидроузла.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Энергетика Центральной Азии: проблемы и перспективы / И. Томберг // Российский совет по международным делам. – 2012. URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/energetika-tsentralnoy-azii-problemy-i-perspektivy/>. Дата обращения: 16.02.2024.
2. Кузьмин С.А., Драницын Е.М., Фролова И.Е. Речные гидротехнические сооружения. Компоновка энергетических гидроузлов. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 124 с.
3. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны/ Под ред. Н.П. Лаврова. – Бишкек: Изд. дом «Салам», 2009. – 504 с.
4. Бухарцев В.Н., Лавров Н.П. Речные гидротехнические сооружения. Водозаборные и деривационные гидроузлы. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 112 с.
5. Лавров Н.П., Логинов Г.И. Проектирование гидросооружений деривационной ГЭС и подбор основного силового оборудования. – Бишкек: КРСУ, 2008. – 112 с.

## АНАЛИЗ ВЫБОРА ОТБОЙНЫХ УСТРОЙСТВ

Отбойные устройства (далее – ОУ) предназначены для защиты корпуса судна и причала от повреждений при подходе и стоянке судна у причала. При помощи ОУ обеспечивается максимальная близость между стоячим судном и конструктивными элементами причала. Однако при нарушении правил эксплуатации даже при использовании ОУ невозможно предотвратить повреждения сооружений и судов, в частности, при превышении допустимой скорости судна при швартовке [1–3].

В 2021 г. из всех аварий, произошедших с участием водного транспорта в акватории портов около 20% были связаны с навалом судов [4]. Преобладающим среди них являются аварийные навалы, которые, в большинстве своем, происходят в процессе швартовных операций. Навалы, не относящиеся к аварийным, но влекущие за собой повреждения причалов или судов и значительные материальные потери, встречаются еще чаще. Данный факт среди прочего требует проведения тщательного расчета устройств, обеспечивающих безопасность судна в порту и играющих значительную роль для снижения аварийности флота.

В настоящее время наиболее часто используют отбойные приспособления двух типов:

- в виде жестких конструкций, которые защищают от повреждений элементы причала и не воспринимают нагрузку;
- типа амортизаторов с частичным поглощением нагрузки, защищающих сооружения и суда (рис. 1).



Рис. 1. Отбойное устройство амортизирующего типа

В работе изучено влияние процессов на акватории порта на энергию навала при подходе судна к причальному сооружению [5]. Акватория порта – водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ, она может быть подразделена на:

1. Открытую акваторию, такую как море или океан, имеющую относительно свободный доступ, на которую могут влиять различные факторы, такие как ветер, течения и приливы (рис. 2, а);
2. Закрытую акваторию, например гавань или реку, защищенную от ветра и волн, и являющуюся более безопасной для якорной стоянки или причаливания судов (рис. 2, б).

На основании рекомендаций СП 38.13330.2018 [6] был проведен расчет швартовно-отбойного устройства для трех расчетных судов: СО-30, СО-40, СО-70 для отличающихся условий – суда СО-30, СО-40 находятся в акватории открытого типа, а судно СО-70 – закрытого. В Таблице 1 приведены основные характеристики судов.

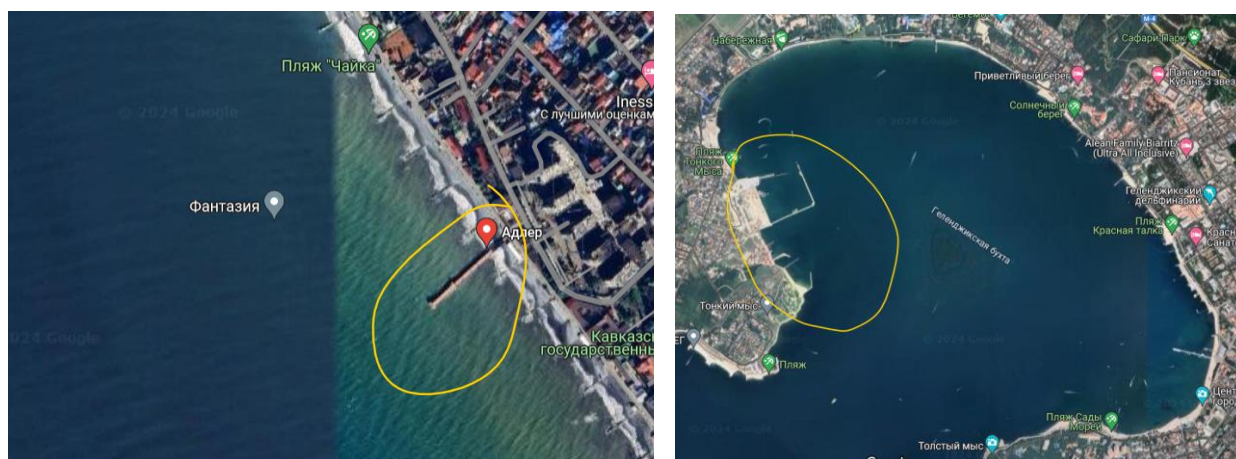


Рис. 2. Примеры акватории: *a* – открытого типа; *б* – закрытого типа

Таблица 1

Характеристика	Судно		
	СО-30	СО-40	СО-70
Водоизмещение, т	39000	62500	100000
Дедвейт, т	30071	43100	70000
Длина, м	180,0	220,0	225,0
Ширина, м	28,4	32,00	36,0
Высота борта, м	16,0	17,2	18,0
Осадка в грузу, м	10,5	10,5	13,3

Кинетическая энергия навала при подходе судна  $E_q$ , кДж, к причальному сооружению определена в соответствии с требованиями п. 6.8 СП 38.13330.2018 [6] по формуле:

$$E_n = \psi \frac{WV_n^2}{2},$$

где  $W$  – расчетное водоизмещение судна, т;  $V_n$  – нормальная составляющая скорости подхода судна, принята по таблице М.1 приложения М [6];  $\psi$  – коэффициент, учитывающий условия швартовки и конструкцию причала, определен по формуле М.1 [6]:

$$\psi = c_m c_e c_c c_s,$$

где  $c_m$  – коэффициент присоединенной массы;  $c_e$  – коэффициент эксцентриситета, учитывающий диссипацию энергии при повороте относительно точки соприкосновения с отбойником, для судна СО-70  $c_e = 0,6$  принят согласно требованиям п. М.4 [6];  $c_c$  – коэффициент сквозности причала, учитывающий амортизирующие свойства слоя воды между корпусом причалившего судна и причала, для сплошной конструкции причала  $c_c = 1,0$  принят согласно п. М.5 [6];  $c_s$  – коэффициент жесткости, учитывающий поглощение части энергии навала за счет упругой деформации отбойных устройств, для отбойников, выполненных из деформируемых материалов  $c_s = 1,0$  принят согласно п. М.6 [6].

Коэффициент присоединенной массы определен согласно требованиям п. М.3 [6]. В условиях подхода судна к причалу бортом (лагом) в зависимости от соотношения осадки судна и глубины воды  $d/d_s \leq 1,1$   $c_m = 1,8$ . Здесь  $d_s = 13,3$  м – осадка судна;  $d = 14,3$  м – глубина у причала.

$$\psi = 1,8 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,08.$$

Тогда энергия навала при подходе судна:

$$E_q = 1,08 \cdot \frac{100000 \times 0,09^2}{2} = 437,4 \text{ кДж.}$$

Энергия, которую должно погасить отбойное устройство, определена с учетом непредвиденных столкновений, ошибок персонала, неисправностей, комбинации этих факторов. Соответствующая этим обстоятельствам энергия навала, рассчитана по формуле:

$$E_A = \gamma_s E_q,$$

где  $\gamma_s$  – коэффициент безопасности,  $\gamma_s = 1,5$  принят по таблице М.2 [6].

$$E_A = 1,5 \cdot 437,4 = 656,1 \text{ кДж} \approx 66,9 \text{ тс}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, расчетная кинетическая энергия навала судна, приходящаяся на отбойное устройство, составляет 656,1 кДж (66,9 тс·м) при расчете по СП 38.13330.2018 [6].

Аналогично были проведены расчеты для других судов, результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Судно	$c_m$	$c_e$	$c_c$	$c_s$	$V_n$ , м/с	$E_q$ , кДж	$\gamma_s$	$E_A$ , кДж
СО-30	1,77	0,66	1,0	1,0	0,24	1312,1	1,68	2204,4
СО-40	1,80	0,55	1,0	1,0	0,22	1497,4	1,59	2380,8
СО-70	1,80	0,60	1,0	1,0	0,09	437,4	1,5	656,1

В соответствии с данными табл. 2, расчетная кинетическая энергия навала судов, приходящаяся на отбойное устройство, для судна СО-30 равна 2204,4 кДж, для СО-40 – 2380,8 кДж, для СО-70 – 656,1 кДж при расчете по СП 38.13330.2018 [6].

Для поглощения энергии от навала судна необходимо предусматривать размещение отбойных устройств на причальных сооружениях с энергопоглощением не менее  $E_A$ . Так же в соответствии с рекомендациями PIANC Guidelines for the Design for Fender Systems [7] и поставщиков отбойного оборудования при выборе отбойных устройств следует вводить поправку на изготовление в размере 10%.

#### Выводы

При сравнении судов с водоизмещением 30 и 40 тыс. т видно, что изменение осадки и увеличение водоизмещения не существенно влияют на величину энергии навала при подходе судна к причальному сооружению.

Из анализа таблицы 2 следует, что наибольшее влияние на навал судна  $E_q$  оказывает параметра  $V_n$  – нормальная составляющая скорости подхода судна. Тип акватории порта во многом определяет допустимую скорость подхода судна, что подтверждается сравнением судов СО-40 и СО-70, располагающихся в акватории открытого и закрытого типа, соответственно.

Для уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций, связанных с навалом судов, при выборе места строительства из двух альтернативных участков необходимо выбирать тот, в котором акватория будет закрытого типа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шарапов Д.А., Большев А.С., Фролова И.Е. Гидротехническое строительство. Порты Северного морского пути – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 100 с.
2. Sharapov D. Ice adhesion to hydrotechnical structures / E3S Web of Conferences: XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023), Vol. 431. – Divnomorskoe village, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 03006.
3. Черкасова В.В., Шарапов Д.А. Реконструкция причального сооружения в порту Архангельска / Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 75–77
4. Сведения об аварийности с судами на море и внутренних водных путях в 2021 году.
5. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.12.2023)
6. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Стандаринформ, 2019
7. PIANC Guidelines for the Design for Fender Systems, 2002



**ПОДБОР ОТБОЙНЫХ УСТРОЙСТВ И ШВАРТОВНЫХ ТУМБ  
ДЛЯ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО ПРИЧАЛА В ГОРОДЕ КРОНШТАДТ:  
АНАЛИЗ НАГРУЗОК И ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ**

*Целью работы* является необходимое обоснование подбора отбойных устройств (ОУ) и швартовных тумб для реконструируемого причала в городе Кронштадт.

*Актуальность* – набережная стенка длиной 93,2 м в городе Кронштадт была реконструирована в 1986 г., на данный момент сооружение III класса подверглось значительному износу и требует срочного восстановления.

Подбор отбойных устройств и швартовных тумб является важным этапом проектирования, поскольку они обеспечивают безопасность судоходства, защищают причал от повреждений и обеспечивают удобство для судов при швартовке [1–3].

Для подбора ОУ и швартовных тумб определяются нагрузки:

- 1) нагрузка от навала судна при его подходе к причальному сооружению;
- 2) нагрузка от действия ветра и течения плавучий объект;
- 3) нагрузка от натяжения швартовов при действии на судно ветра и течения.

Нагрузка от навала пришвартованного судна на причальное сооружение при действии ветра и течения для расчета отбойных устройств не является определяющей. Размеры судна, которое будет использоваться для расчетов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Размерения расчетного судна для причала

Водоизмещение $W$ , т	Длина $L_s$ , м	Ширина $B_s$ , м	Осадка $d_s$ , м	Надводная высота борта судна $F$ , м	Площадь парусности, м <sup>2</sup>	
					Надводная бортовая, $A_n$ / лобовая, $A_l$	Подводная бортовая, $A_{nt}$ / лобовая, $A_{lt}$
504	28,8	9,5	4,5	4,9	155/50	117/38

Рассматриваемая акватория не защищена от волнения оградительными сооружениями, поэтому принимается тип акватории – открытый. Допускаемые для швартовки и стоянки судов параметры гидрометеорологических условий определены в [4], по данным анализа местных гидрометеорологических условий они соответствуют требованиям, поэтому условия швартовки – простые. Согласно техническим решениям, суда подходят к причальному фронту бортом. Энергия, которую должно погасить ОУ (расчетная энергия навала), с учетом всех погрешностей на ошибки персонала и т.д., определена по формуле [5]:

$$E_A = \gamma_s \psi \frac{W V_n^2}{2}, \text{ кДж},$$

где  $\gamma_s$  – коэффициент безопасности, принят 1,7;  $\psi$  – коэффициент, учитывающий условия швартовки и конструкцию причального сооружения [5], принят 0,96;  $W$  – расчетное водоизмещение судна, т (см. табл. 1);  $V_n$  – нормальная составляющая скорости подхода судна, принята 0,52 м/с.

В результате полученная энергия равна  $E_A = 144,8$  кДж.

В таблице 2 приведено обоснование подбора ОУ.

Расчетные значения поперечной и продольной, составляющих силы ветра на расчетные суда определены согласно [5]:

$$\begin{aligned} \text{поперечная нагрузка: } Q_w &= 73,6 \cdot 10^{-5} A_n V_{wn}^2 \xi; \\ \text{продольная нагрузка: } N_w &= 49,0 \cdot 10^{-5} A_l V_{wl}^2 \xi, \end{aligned}$$

где  $A_n$  и  $A_l$  – соответственно боковая и лобовая надводные площади парусности расчетного судна (см. табл. 1);  $V_{wn}$  и  $V_{wl}$  – соответственно поперечная и продольная составляющие скорости ветра, приняты по [5] равными 18,53 м/с;  $\xi$  – коэффициент, принят по [8] равным 0,96. Полученные нагрузки сведены в таблицу 3.

Таблица 2 – Подбор отбойных устройств

Назначение отметок установки, шага отбойных устройств	
Отметка установки ОУ, м <sup>1)</sup>	
- верх	+2,760
- низ	+1,860
Принятый тип ОУ	Конические отбойные устройства КРОН-КН600 RS
Высота ОУ, $H$ , м	600
max диаметр ОУ, $H$ , мм	900
Количество ОУ	21
Шаг, м <sup>2)</sup>	4,3
Число одновременно работающих ОУ в группе, шт. <sup>3)</sup>	1
Обоснование величины энергоемкости ОУ	
Энергоемкость одного ОУ, $E$ , кН·м/м <sup>4)</sup>	161
Реакция одного ОУ, $R$ , кН/м	542
$E_A/E \cdot 100\%$ , %	89,9

<sup>1)</sup> Отметки даны в Балтийской системе высот (от «0» Кронштадтского футштока). Отметки назначены по результатам графического анализа и исходя из условия опирания судна с минимальной высотой борта на минимальном уровне с учетом не менее, чем на 0,50 м.

<sup>2)</sup> Шаг ОУ принят по следующим критериям: а) согласно рекомендациям [6] шаг ОУ не должен превышать  $0,15L_s$ , где  $L_s$  – длина наименьшего расчетного судна (см. табл. 1); б) с учетом практики применения ОУ шаг отбойных устройств не должен превышать 15 м.

<sup>3)</sup> По результатам графического анализа (см. рис. 1). Причаливание расчетных судов при угле подхода к причалу  $\leq 10^\circ$  (согласно технологическим требованиям).

<sup>4)</sup> Указаны энергоемкость и реакция одного отбойного устройства на 1 м длины на основании каталога продукции [7].

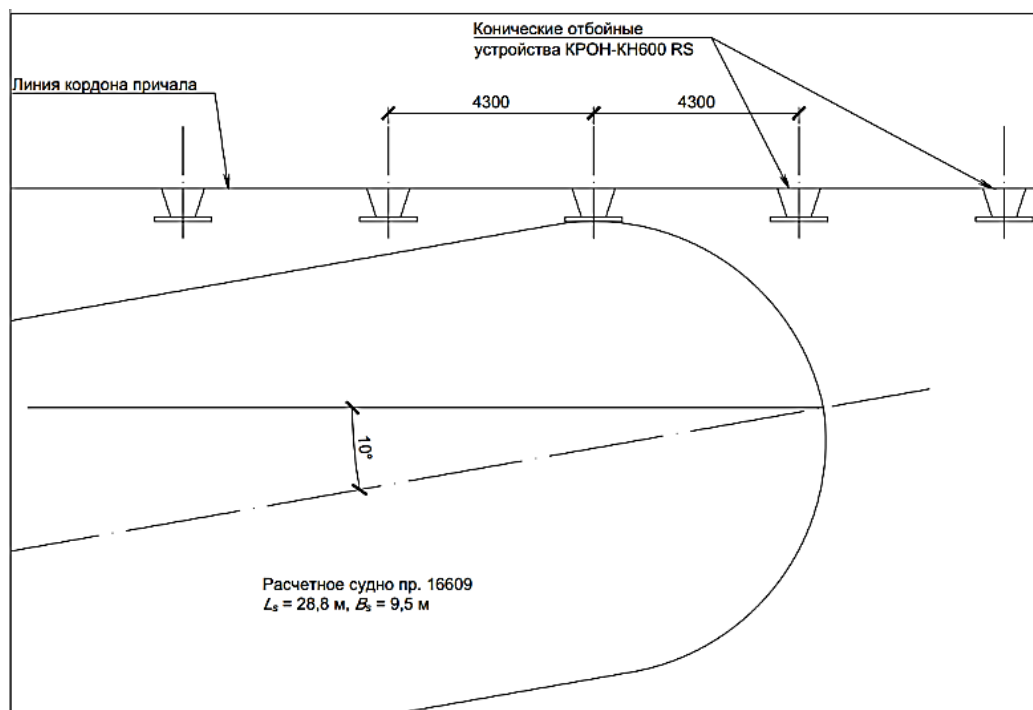


Рис. 1. Контакт расчетного судна с одним коническим отбойным устройством КРОН-КН600 RS

Расчетные значения поперечной и продольной составляющих силы от воздействия течения на расчетные суда определено согласно [8]:

$$\text{поперечная нагрузка: } Q_c = 0,5C_n\rho A_{nt}V_{cn}^2;$$

$$\text{продольная нагрузка: } N_c = 0,5C_l\rho A_{ll}V_{cl}^2,$$

где  $A_{nt}$  и  $A_{ll}$  – соответственно боковая и лобовая подводные площади парусности расчетного судна (см. таб. 1);  $V_{cn}$  и  $V_{cl}$  – соответственно поперечная и продольная составляющие скорости течения, приняты по [8] равными 0,5 м/с;  $\rho$  – плотность воды, принята по [8] равной 1,01 т/м<sup>3</sup>;  $C_n$  и  $C_l$  – обобщающие коэффициенты поперечной и продольной силы воздействия течения, приняты по [8] равными 1,74 и 0,16 соответственно. Полученные нагрузки сведены в таблицу 3.

Нагрузки от натяжения швартовов определены с учетом распределения на швартовные тумбы суммарной силы, возникающей от действия на одно расчетное судно ветра и течения. Для судов, стоящих лагом, сила, воспринимаемая одной тумбой, на уровне козырька, определена согласно [5]:

$$S = \frac{Q_{tot}}{n \sin \alpha \cos \beta};$$

$$\text{продольная: } S_q = \frac{Q_{tot}}{n}; \text{ поперечная: } S_n = S \cos \alpha \cos \beta; \text{ вертикальная: } S_y = S \sin \beta,$$

где  $Q_{tot}$  – поперечная составляющая суммарной силы, возникающей от действия на судно ветра и течения (см. табл. 2);  $n$  – число работающих тумб, принято по [5] равным 2 шт.;  $\alpha$  и  $\beta$  – углы наклона швартова, приняты по [5] равными 30° и 40° соответственно. Полученные нагрузки сведены в таблицу 3.

Сила, передаваемая на каждую концевую тумбу носовыми или кормовыми продольными швартовными не должна быть меньше продольной составляющей суммарной силы от действия ветра и течения на расчетное судно.

Таблица 3 – Сводная таблица по полученным нагрузкам

$Q_w$ , кН	$N_w$ , кН	$Q_c$ , кН	$N_c$ , кН	$Q_{tot}$ , кН	$N_{tot}$ , кН	$S$ , кН	$S_q$ , кН	$S_n$ , кН	$S_y$ , кН
37,6	8,07	25,78	0,76	63,68	8,84	82,75	31,69	54,51	53,13

**Выводы:** 1. Подбранное ОУ работает на 89,9% поглощая всю расчетную энергию судна; 2.  $S_q > N_{tot}$ , что выполняет условия [5]; 3. По найденному значению продольной составляющей усилия на швартовную тумбу подбирается тумба по [9] ТСО-16. Средний шаг швартовых тумб принят равным не более 23 м.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
2. Беляев Н.Д. Причины аварий причальных сооружений. Предотвращение аварий зданий и сооружений. Межвузовский сборник научных трудов. Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 34–39.
3. Малеванов К.А., Беляев Н.Д. Характерные повреждения причалов типа «больверк» и мероприятия по их устранению. Ч. I. Материалы межвузовской конференции. XXXII Неделя науки СПбГПУ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. С. 17–19.
4. РД 31.33.10-87. Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищенных от волнения причалов – Москва. 1987 г. – 56 с.
5. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) – Москва. 2019 г. – 106 с.
6. Руководство FenderTeam. 2017 г. – 136 с.
7. Каталог КРОН: Отбойные устройства корпусные кранцы. 148 с.
8. РД 31.3.01.01-93. Руководство по технологическому проектированию морских портов – Москва. 1993 г. – 187 с.
9. ГОСТ 17424–72. Тумбы швартовые морские – Москва. 1972 г. – 10 с.

МОРСКИЕ ТЕРМИНАЛЬНЫЕ ПРИЧАЛЫ КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ  
РАЗГРУЗКИ ТАНКЕРОВ. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

*Цель работы* – определить перспективы дальнейшего проектирования и строительства стационарных морских причалов с целью улучшения возможностей российских портов по загрузке/разгрузке различных типов танкеров.

В нашей стране остро стоит проблема загрузки и разгрузки танкеров для транспортировки углеводородов. Для примера рассмотрим Новороссийский морской порт, крупнейший порт России. Новороссийская бухта доступна для судов с осадкой до 19,0 м, а внутренняя акватория порта – до 12,5 м. Глубины вдоль наливных терминалов (от 8,4 до 15,6 м) позволяют принимать танкеры дедвейтом до 250 000 т. Из [1] видно, что данные показатели порта не позволяют обслуживать крупнотоннажные танкеры типа VLCC и ULCC. Обслуживание танкеров типа Suezmax и Aframax затруднено. Танкеры выстраиваются в очереди вдоль побережья и ожидают разгрузки. Аналогичные проблемы присущи и остальным портам нашей страны.

Отдельно стоит отметить трудности подхода судов к берегу в результате сильного обледенения прибрежных зон в зимний период. В северных морях данная проблема носит ключевой характер.

Решением проблем в области транспортировки углеводородов стали морские причалы для погрузки и разгрузки судов-гигантов. Среди основных и вспомогательных гидротехнических средств, используемых при освоении морских энергетических ресурсов на континентальном шельфе, морские терминальные причалы (МТП) занимают одно из ведущих мест. МТП предназначены для загрузки и выгрузки нефтепродуктов и газового конденсата из танкеров в условиях открытого моря или рейда; они соединены подводными трубопроводами с береговыми пунктами загрузки и выгрузки. МТП экономически целесообразны. Процесс загрузки/выгрузки происходит значительно быстрее, в сравнении с береговыми терминалами. МТП устанавливаются вдали от берега, что позволяет обезопасить акваторию порта и береговую черту от загрязнения нефтепродуктами. В условиях северных морей использование МТП сокращает затраты на капитальное строительство береговых коммуникаций.

В большинстве случаев для решения описанных выше задач в настоящее время используются следующие типы причальных конструкций: многоточечный плавучий причал (МПП); одноточечный швартовный причал (СПМ).

Многоточечные причалы – это простейшие и быстро возводимые причальные устройства. Они состоят из нескольких швартовных бочек, удерживаемых якорными системами. Танкер швартуется к нескольким бочкам кормой, одновременно становясь на свой якорь носом. Нефть перегружается по наземным и подводным трубам, что упрощает процесс и делает его эффективным в акваториях, защищенных от природных воздействий. Однако для условий открытого моря, дрейфующего льда, и скального грунта, применение данного типа причалов оказывается крайне затруднительно, в связи с возможностью повреждения танкера и устройств его закрепления подвижным льдом или в штормовых условиях. Жестко закрепленный танкер может оказаться ориентированным лагом к направлению движения льда или к штормовой волне, что может привести к аварии танкера и причала. Поэтому в этом случае время эксплуатации многоточечного причала должно быть ограничено только безледовым периодом при благоприятной погоде. На рисунке 1 изображён стандартный многоточечный причал [2].

Ещё один из вариантов МТП является точечный плавучий причал. Плавучие точечные причалы (рис. 2) (ферменной конструкции) – подвижные конструкции, удерживаемые от

значительных перемещений относительно грунта с помощью якорной системы или жесткой шарнирной связью с фундаментной плитой, закрепленной на грунте. Причалы данного типа являются неледостойкими. Допускается их проектирование для эксплуатации при толщине льда не более 0,2 м. Данный тип МТП легко отбуксировать в другое место аналогичной глубины.

Таблица 1 – Осадка

Класс Танкера	Осадка, м
Seawaymax	7,92
Panamax	12,0
Aframax	11,6
Suezmax	16,0
VLCC	21,0
ULCC	-



Рис. 1. Многоточечный причал



Рис. 2. Плавающий причал



Рис. 3. СМЛОП «Варандей»



Рис. 3. Моносвая



Рис. 4. Точечный причал

Применение МТП в северных широтах является, практически единственной возможностью загрузки/выгрузки нефтепродуктов. Подобные причалы дают возможность работать без перерыва в районах с большими приливами и отливами, в местах, где подход танкеров к берегу просто невозможен в связи с изменчивостью рельефа дна.

Более приемлемой схемой постановки танкера с точки зрения уменьшения нагрузок на комплекс «причал-танкер» является стационарный одноточечный причал. В этом случае танкер поворачивается вокруг оси причала под действием внешних условий и ориентируется относительно внешних условий так, чтобы минимизировать воздействие льда или ветра.

Рассмотрим конструктивные особенности различных типов причалов.

Основание кессоного типа. Данный тип основания был применён для строительства Варандейского причала в Баренцевом море. Это стальная платформа с восьмиугольным (в плане) основанием и расположенным на главной палубе верхним строением. Верхнее строение состоит из одноярусной надстройки, и расположенных над ней поворотного швартовно-грузового устройства и вертолетной площадки. Устойчивость причала на грунте обеспечивается свайным фундаментом с 24 сваями.

Стационарный морской ледостойкий отгрузочный причал (СМЛОП) (рис. 3) рассчитан для эксплуатации в суровых условиях Печорского моря на внешние нагрузки повторяемостью 1 раз в 100 лет [3].

Одним из основных типов точечного причала является моносвая (рис. 4). Этот тип выносного причала разработан компанией Aker Engineering & Technology и предназначен для швартовки танкеров в глубоководных акваториях Северного моря. Были проведены модельные испытания и тщательный анализ системы применительно к глубине 350 м. Основной элемент конструкции – толстостенная труба конической формы, в верхней части которой находится камера плавучести. Она расположена на глубине 40 м ниже уровня моря и

над ней установлена сборная конструкция из трубчатых элементов, а внутри находится райзер, по которому продукция скважин подается на поворотный круг и стрелу. К поворотному кругу прикреплен швартов из синтетического волокна [5].

В 2009 г. завершилась установка точечного причала, изображённого на рисунке 3, который входит в состав объектов обустройства месторождения имени Юрия Корчагина в Каспийском море. Опорный блок причала весом 915 т был отбуксирован в море, при помощи плавучего крана установлен на глубину 20,5 м и прикреплен ко дну пятью сваями диаметром свыше 2 м. Затем на опорный блок было установлено верхнее строение весом свыше 240 т [6]. Данный тип основания позволяет выдерживать большие нагрузки, однако является капитальным сооружением и может устанавливаться только на долгосрочную перспективу.

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующее:

1. Порты Российской Федерации нуждаются в оптимизации процессов загрузки и разгрузки танкеров с большим водоизмещением и осадкой.
2. В южных широтах, в акваториях портов незамерзающих морей рационально использовать многоточечные причалы и точечные плавучие причалы с якорной системой. Данные быстровозводимые типы МТП, экономически целесообразны и смогут в кратчайшие сроки ускорить загрузку/разгрузку танкеров.
3. В северных широтах необходимо использовать стационарные точечные причалы, способные выдержать большую ледовую нагрузку. Целесообразно использовать конструкции кессонного типа; основания на свайном закреплении; прибегать к конусовидным конструкциям. Такие сооружения сложны в проектировании, а также в большинстве своём не имеют возможности передислоцирования, поэтому рассчитаны на долгосрочную перспективу.
4. В целом, строительство специализированных морских терминальных причалов может способствовать увеличению вместимости и эффективности эксплуатации крупнотоннажных судов типов ULCC (Ultra Large Crude Carrier) и VLCC (Very Large Crude Carrier). Это, в свою очередь, может способствовать оптимизации логистических процессов, связанных с транспортировкой углеводородов, и улучшению конкурентоспособности портовой инфраструктуры.

*Выводы.* В процессе реализации проектов стационарных терминалов в северных морях будут решены проблемы подхода судна к терминалам в условиях обледенения прибрежных зон. При использовании более дешёвых и простых в установке терминалов в южных морях можно решить проблему разгрузки на мелководье танкеров-гигантов и уменьшить нагрузку на береговые терминалы с ускорением процессов навигации в акватории порта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Классификация танкеров [Электронный ресурс]: дата обращения 29.02.2024. – режим доступа: <https://morproekt.ru/materialy-po-tekhnologii/prilozheniya-i-spravochnye-materialy/klassifikatsiya-tankerov-v-zavisimosti-ot-dedvejta>.
2. Коновалов М.Ю., Игнатович В.С. Морские терминальные причалы [Электронный ресурс]: дата обращения 29.02.2024. – режим доступа: [http://www.rusnauka.com/13\\_NPT\\_2008/Tecnic/31796.doc.htm](http://www.rusnauka.com/13_NPT_2008/Tecnic/31796.doc.htm).
3. Средства хранения и транспортировки нефти и газового конденсата с морских нефтегазовых месторождений. Танкеры, трубопроводы, хранилища углеводородов [Электронный ресурс]: дата обращения 29.02.2024. – режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/n/neftenalivnoj-prichal/>.
4. Большев А.С., Фролов С.А., Благовидова И.Л. Математическое моделирование и программное исследование работы системы «Морской отгрузочный причал – Танкер – Буксир». Сборник трудов конференции «Освоение арктического шельфа России», 2007, №175.
5. Гудфеллоу Р., Шассеро Ж.-Л. Освоение малых морских месторождений, пер. с англ. под ред. Чубанова и др., «Недра», М., 1990.
6. Лукойл установил точечный причал [Электронный ресурс]: дата обращения 02.02.2024. – режим доступа: <https://lukoil.ru/PressCenter/Pressreleases/Pressrelease/lukoil-ustanovil-tochechnyi-prichal-na-kaspiiskom>.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ СООРУЖЕНИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА  
ОТ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ

*Актуальностью* данной темы является потребность в оптимизации затрат на строительство арктических шельфовых сооружений. Так как ледовые нагрузки являются одними из самых больших, то их определение, расчет, и снижение является важными актуальными вопросами проектирования. Строительство данных шельфовых сооружений необходимо для освоения ресурсного потенциала шельфовой зоны Арктики, которая составляет примерно 70% от всей площади континентального шельфа России.

*Целью* работы является анализ эффективности различных методов снижения ледовой нагрузки на шельфовые сооружения с помощью применения различных технологий для увеличения безопасности и надежности сооружений.

Все виды защиты морских сооружений от ледовой нагрузки можно разделить на две группы: активные и пассивные. Активными видами защиты морских сооружений от льда будем считать такие защитные конструкции, которые работают динамически. Пассивными видами защиты морских сооружений будем считать такие, которые работают статически (неподвижно).

Пассивные методы снижения ледовой нагрузки:

1. Устройство ледового пояса с ледоразрушающими наделками типа бандажей.

Бандажное устройство представляет собой стальной манжет с круговой или многогранной формой в плане и с вертикальными (в том числе цилиндрическими) или наклонными (в том числе коническими) боковыми поверхностями для разрушения льда [1]. При контакте наделок со льдом в районах выпирающих частей (ребер пирамид) по мнению Крыжевича Г.Б.: наблюдается концентрация напряжений, приводящая к быстрому развитию в этих районах пластического течения льда (при очень малых нагрузках на сооружение), к стеснению пластического деформирования льда в зонах концентрации и к появлению трещин [2]. Самыми эффективными по результатам экспериментов [2] для разрушения толстого льда являются наделки в виде двух рядов пирамид, разделенных между собой панелью, а также применение крупных угловатых пирамидальных наделок.

Основным недостатком такого вида защитных устройств является то, что практически вся нагрузка от ледового поля передается на сооружение, несмотря на ледокольную форму конструкции. Данный элемент способен защищать от истирания бетонные опоры.

2. Устройство сооружений на подходе с ледоразрушающими наделками типа бандажей.

Для обеспечения защиты от ледового поля инженерных сооружений возводятся небольшие конструкции ледокольной формы на определенном расстоянии от платформы, чтобы на подходе к основному сооружению лед доходил в раздробленном виде. Такой способ защиты шельфовых сооружений более эффективен, чем использование накладок, однако более дорогостоящий, так как придется строить 2–3 дополнительных маленьких сооружения. При этом эти сооружения можно будет в дальнейшем использовать повторно.

3. Ультразвуковое разрушение льда.

Данный способ позволяет бороться от атмосферного обледенения и обледенения от морских брызг. Устройство подает на металлическую поверхность ультразвук частотой 25–27 Гц и облучает толщу льда сверхвысокочастотной энергией, которая воздействует на жидкость, содержащаяся в толще морской лед. При этом под действием этой энергии жидкость испаряется, и пары, которые образовались – расширяются и под давлением разрушают кристаллы [3]. Данный способ позволит очищать ледовый пояс от наледи, тем самым повысить

эффективность его использования. Помимо этого, данный способ позволит защищать от обледенения конструкции нефтедобывающей отрасли, расположенных на платформе, тем самым увеличит безопасность их эксплуатации.

Активные методы снижения ледовой нагрузки:

#### 1. Изменение траектории движения льда.

Применение ледоколов для разрушения льда вокруг платформы – это очень дорогостоящий способ. Срок эксплуатации, например, нефтегазовых сооружений в среднем более 20 лет. Соответственно, использовать такой способ для снижения нагрузки на стационарное сооружение не будет экономически оправдано. Однако, когда речь заходит о крупных отколовшихся айсбергах, которые находятся на пути нефтедобывающей платформы, то отбуксировать ледоколом айсберг будет экономически целесообразно.

#### 2. Взрывной метод

Применение механического разрушения морского льда не дает в должной мере требуемого эффекта, так как рассчитывается на определенные нагрузки и определенные условия, в которых проявляется ее эффективность и возможность функционирования. Данный способ может в значительной мере нанести вред рыболовному хозяйству, а также создать сильные волны. Можно использовать для дробления крупных айсбергов на более мелкие, для удобства буксирования.

#### 3. Передвижной защитный бандаж.

При дрейфе ледяного покрова на поворотную часть 4 защитного бандажа 2 начинают действовать внешние силы со стороны ледовых образований 6 и, прокручивая его, отводятся от буровой платформы, защитный бандаж 2 при этом совершает пассивную работу и приводится в движение напором льда (рис. 1). При движении сплошного ледового поля, приводится в действие силовой привод 7, передающий усилие на поворотную часть 4 защитного бандажа 2 через систему зубчатых колес 8. Защитный бандаж 2, совершая активную работу, разрушает ледовое поле своим ледорезным слоем 9 [4]. Таким образом, вращение защитного бандажа вокруг буровой минимизирует ледовые нагрузки, как на корпус буровой, так и на саму защитную конструкцию.

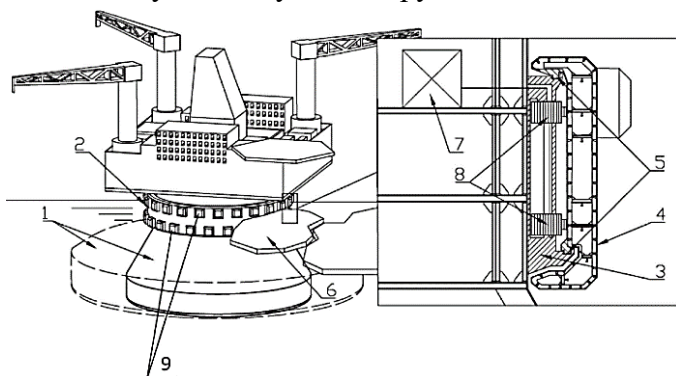


Рис. 1. Устройство передвижного бандажа

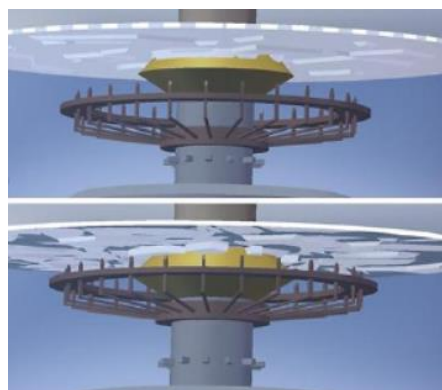


Рис. 2. Модель пневматического устройства активной защиты

#### 4. Использование пневматического устройства для защиты платформ.

Данное устройство (рис. 2) подходит только для платформ типа монопод. Пневматическая установка перемещается вертикально за счет балластировки. Сверху и снизу у установки имеются ограничители. При сливе балластных цистерн устройство поднимается вверх и разрубает лед [5]. Данное устройство авторы рекомендуют применять при установившемся ледовом покрове, чтобы снизить ледовую нагрузку на опоры сооружения. При этом данный способ не позволяет экономить на материалах, потому что опоры изначально рассчитываются на максимальную нагрузку от движущегося льда. Данное устройство может быть дополнительно использовано, как мероприятие по защите от разлива



нефти, при всплытии на поверхность кольца, пятно нефти окажется оконтурено и собрать наплавившиеся кусочки льда от нефти окажется намного легче.

#### 5. Использование мягких пневматических надувных емкостей (МПНЕ).

Данное устройство состоит из полых металлических коробов в которых вставлены (МПНЕ) с возможностью увеличения объема при их надувании. Короба всплывают и конусовидным наконечником разрушают ледовое поле (рис. 3). Эти короба закреплены шарнирно к конструкции [5]. Оболочка объемом 50 м<sup>3</sup> создает подъемную силу 500 кН. Помимо этого данное устройство может использоваться с целью предотвращения аварии по разливу нефти.

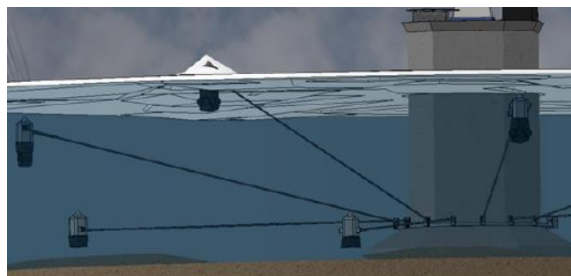


Рис. 3. Модель устройства активной защиты с использованием мягких пневматических надувных емкостей

Снижение ледовой нагрузки, влечет экономию материалов при строительстве за счет оптимизации несущих сечений конструкции [6, 7]. Применение в комплексе активной и пассивной защиты сооружения от ледовой нагрузки позволит наиболее эффективно снижать ледовую нагрузку. Большинство приведенных методов активной борьбы со льдом позволяет снижать ледовую нагрузку в период ледостава. Ультразвуковое разрушение наледи позволит снизить затраты на химическую обработку металлических конструкций и увеличить их срок эксплуатации, а также не загрязняет окружающую среду химическими реагентами. Благодаря росту интереса в освоении Арктического шельфа специалистами разрабатываются новые способы снижения ледовой нагрузки помимо классических. Применение искусственного интеллекта (ИИ) в совокупности с датчиками и цифровой моделью шельфового сооружения позволит исследовать лед и получать недостающую информацию по его характеристикам [8]. Благодаря ИИ появится возможность проектировать сооружения на расчетную нагрузку, без значительного завышения коэффициента запаса. Помимо этого, ИИ можно использовать для удаленного управления некоторым ледоразрушающими установками.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кульмач П.П. Морские сооружения для освоения полярного шельфа. СПб.-М.: 26 ЦНИИ МО РФ. 1999, с.60
2. Крыжевич Г.Б. Экспериментальное обоснование способов снижения ледовых воздействий на шельфовые сооружения и методов расчета нагрузок // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 3 (45) Т.2 2019. – С. 54–57.
3. Соломин Е.В., Долгошеев В.В., Васильев И.А. Противообледенительная система лопасти ВЭУ на основе ультразвукового излучения // «Альтернативная энергетика и экология». –2015. – № 05(169). – С. 22.
4. Патент № RU171716U1\_20170613 заявл. 2017-02-14; опубл. 2017-06-13/Славгородская Д.В. заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДФУ)
5. Чертихин Д.И. Состояние проблемы изученности особенностей разрушения морского льда при воздействии на морские сооружения. // Молодой ученый. – 2023. – № 24 (471). – С. 107–112.
6. Шарапов Д.А. Гидротехническое строительство. Ледовые воздействия на морские сооружения Арктики : учеб. пособие / Д.А. Шарапов, А.С. Большев. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 125 с.
7. Савельева В.В. Влияние ледовой нагрузки на устойчивость основания ЛСП-1 / В.В. Савельева, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 35–37.
8. Георгиев М.А. Использование справочных систем на основе искусственного интеллекта для гидротехнического проектирования / М.А. Георгиев, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 20–22.

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫСОКОНАПОРНОГО ГИДРОУЗЛА

Гидротехнические сооружения I и II классов, согласно градостроительному кодексу, относятся к особо опасным и технически сложным объектам, поэтому к их проектированию предъявляются строгие требования [1, 2]. В число составляющих гидроузла могут входить дамбы, водосбросные плотины и другие объекты, к которым предъявляются высокие требования, подтверждаемые расчетным обоснованием [3–5]. Гасители энергии высоконапорных водохранилищных гидроузлов – необходимые составляющие, которые предотвращают размывы русла и не допускают потери устойчивости основного сооружения [6, 7]. Для высоконапорного гидроузла это тем более важно, потому что они позволяют рассеять кинетическую энергию потока, которая достигает весьма больших значений [8]. При этом любые строительные работы, тем более скальные, являются дорогостоящими, поэтому необходимо технико-экономическое обоснование. Объектом исследования является гаситель энергии водосброса. Исследование проводится численным методом.

*Цель работы* – показать, что для запроектированного высоконапорного гидроузла устройство трамплина – наиболее выгодно с точки зрения производства скальных работ по сравнению с водобойным колодцем.

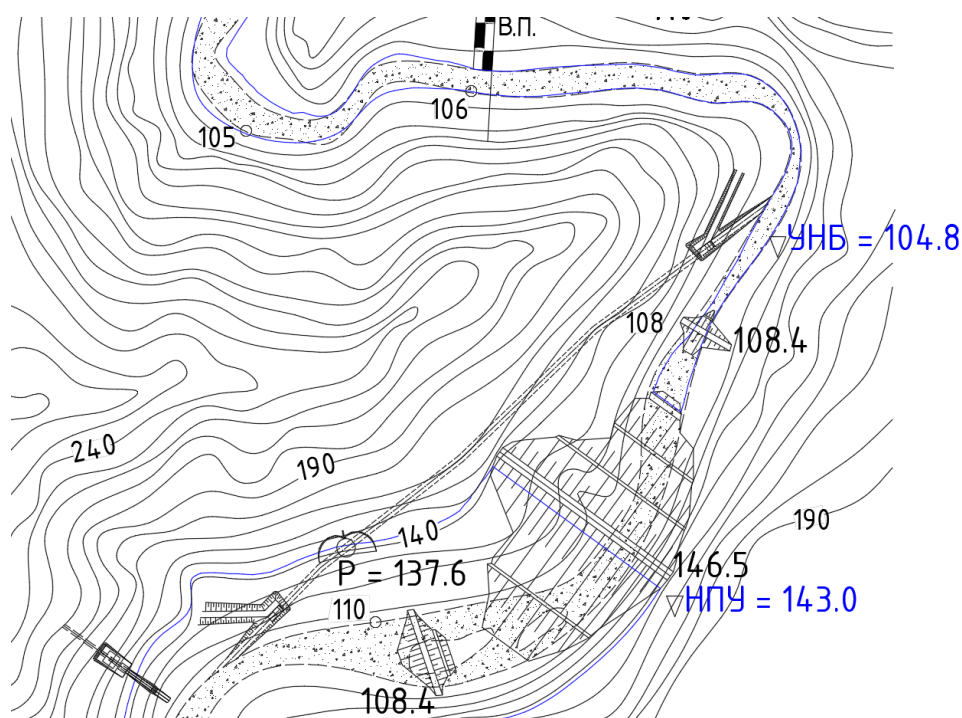


Рис. 1. Компонентные решения гидроузла

В статье рассматривается высоконапорный водохранилищный гидроузел с расположением грунтовой плотины в русле реки и эксплуатационного водосброса в виде шахты, совмещенного со строительным водосбросом (рис. 1).

Глубина в конце отводящего участка –  $h = 5,63$  м; расчетный расход на водосливе –  $Q_p = 766$  м<sup>3</sup>/с; ширина тоннеля –  $B = 7,0$  м; отметка на выходе из тоннеля –  $\downarrow = 96,2$  м; уровень нижнего бьефа при пропуске основного расхода  $\downarrow$ УНБ = 104,8 м.

Далее определяются отметка поверхности водобойного колодца и его длина [9]. Полная энергия на выходе из тоннеля с учетом исходных данных:

$$\mathcal{E} = h + (Q_p / (Bh))^2 / (2g), \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = 5,63 + (766 / (7,0 \cdot 5,63))^2 / (2 \cdot 9,8) = 24,8 \text{ м.}$$

Уровень линии энергии устанавливается на отметке:

$$\downarrow \mathcal{E} = 96,2 + 24,8 = 121 \text{ м.}$$

Разница уровня линии энергии и отметки уровня нижнего бьефа показывает перепад:

$$Z_0 = 121 - 104,8 = 16,2 \text{ м.}$$

Критическая глубина определяется по формуле:

$$h_{кр} = ((\alpha Q_p^2) / (B^2 g))^{1/3}, \quad (2)$$

$$h_{кр} = ((1 \cdot 766^2) / (7,0^2 \cdot 9,8))^{1/3} = 10,7 \text{ м.}$$

Определяется относительная величина перепада:

$$Z_0 / h_{кр} = 16,2 / 10,7 = 1,5.$$

По графику для определения сопряженных первой и второй глубин находятся  $h' / h_{кр} = 0,08$  и  $h'' / h_{кр} = 1,8$  [9].  $h' = 0,08 \cdot 10,7 = 0,86 \text{ м}$ ;  $h'' = 1,8 \cdot 10,7 = 19,26 \text{ м}$ .

Принимая коэффициент затопления прыжка  $n_s = 1,05$ , глубина, необходимая для затопления прыжка:

$$t = n_s h'' = 1,05 \cdot 19,26 = 20,2 \text{ м.}$$

Отметка поверхности водобойного колодца:

$$\downarrow B = 104,8 - 20,2 = 84,6 \text{ м.}$$

Длина водобойного колодца:

$$l_{вод} = 4,5t = 4,5 \cdot 20,2 = 90,9 \text{ м.}$$

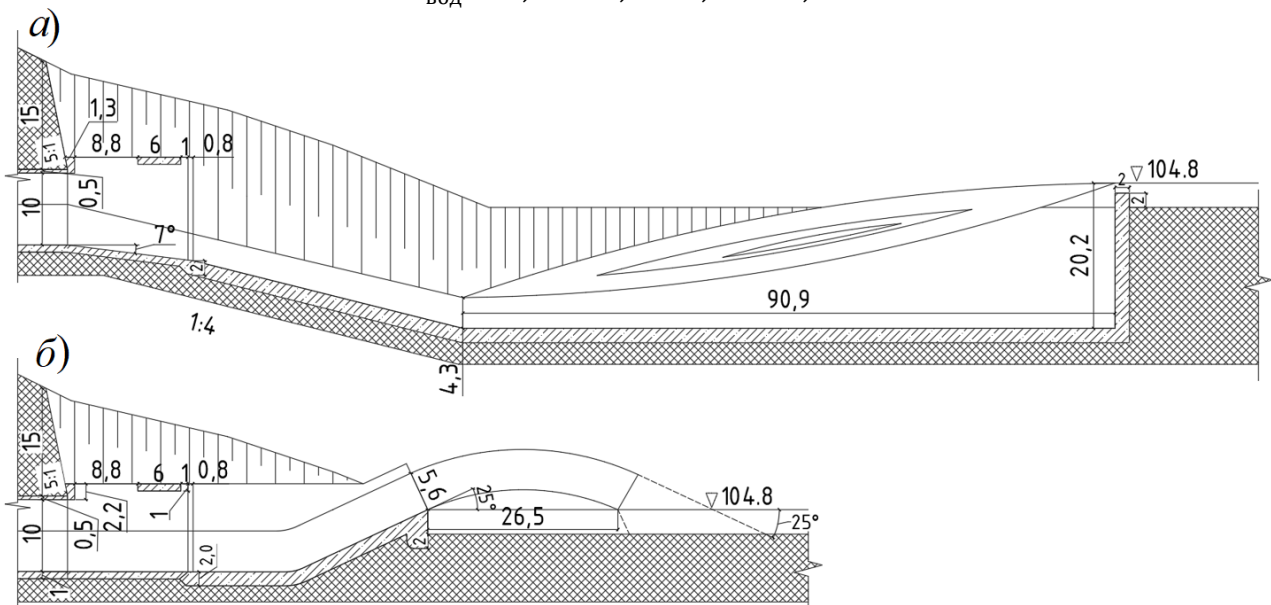


Рис. 2. Варианты конструкций гасителей энергии:  
а – водобойный колодец; б – сопряжение с нижним бьефом, трамплин

Второй вариант конструкции – трамплин (рис. 2). Дальность отброса потока трамплином от конца водосброса рассчитывается по формуле (3), угол встречи потока с водной поверхностью нижнего бьефа – по формуле (4):

$$L = \varphi(V^2 / 2g) \sin 2\alpha \left( 1 + \sqrt{1 + 2ga / (V^2 \sin^2 \alpha)} \right), \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \beta' = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 2ga / \varphi^2 V^2 \cos^2 \alpha}, \quad (4)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий потери кинетической энергии при полете потока в воздушной среде,  $\varphi = 0,9$ ;  $a$  – возвышение потока над УНБ,  $a = 0$ ;  $V$  – скорость потока на сходе с трамплина,  $V = 19,4$  м/с;  $\alpha$  – угол наклона носка трамплина к горизонту,  $\alpha = 25^\circ$ .

$$L = 0,9 \cdot (19,4^2 / (2 \cdot 9,8)) \cdot \sin(2 \cdot 25^\circ) \left( 1 + \sqrt{1 + 2 \cdot 9,8 \cdot 0 / (19,4^2 \cdot \sin^2 25^\circ)} \right) = 26,5 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \beta' = \sqrt{\operatorname{tg}^2 25^\circ + 2 \cdot 9,8 \cdot 0 / (0,9^2 19,4^2 \cos^2 25^\circ)} = \operatorname{tg} 25^\circ.$$

Угол встречи потока с водной поверхностью нижнего бьефа составляет  $\beta' = 25^\circ$ .

С учетом рассчитанных габаритов объем скальных работ, необходимых для создания водобойного колодца больше, чем для трамплина на  $12\,250 \text{ м}^3$ . Была составлена локальная смета ручным способом ресурсно-индексным методом для 1 ценовой зоны Республики Саха при условии, что грунт – скальный, VI группы по трудности разработки. Кроме разрыхления грунта механизировано-взрывным способом, в смете учитывалась погрузка грунта в автосамосвалы и вывоз грунта на расстояние 10 км от места производства работ [10]. Таким образом, по расчетам, водобойный колодец дороже трамплина на 17,5 млн руб.

*Выводы.* При проектировании высоконапорных водохранилищных гидроузлов важно правильно запроектировать и сконструировать гаситель энергии, так как от него зависит надежность основного сооружения. При этом необходимо учитывать экономическую составляющую, потому что гидротехнические сооружения – это объекты, требующие колоссальных финансовых вложений. На конкретном примере гидроузла было показано, насколько значительно могут отличаться конструкции гасителей, и какие объемы работ при этом требуется выполнить. Однако, рассмотренные конструкции были рассчитаны по эмпирическим зависимостям, поэтому нормы требуют проведения физического моделирования с целью доказательства надежности и безопасности сооружения [2].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 13.06.2023);
2. СП 290.1325800.2016. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования. Дата введения: 2017-06-17.
3. Примак Н.В. Выбор оптимального количества ребер сегментного затвора методом КЭ / Н.В. Примак, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 69-71.
4. Еременко К. В. Фильтрационный расчёт грунтовой плотины Мельничной МГЭС мощностью 412 кВт в Карелии в среде PLAXIS / К.В. Еременко, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 23-25.
5. Школьная А.А. Статическая устойчивость дамбы хвостохранилища Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева в среде PLAXIS / А.А. Школьная, И.А. Огиевич, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 55-57.
6. Жукова Т.Ю. Особенности режимов сопряжения бьефов и устройства для гашения избыточной энергии потока в нижнем бьефе водосброса // Инновации. Наука. Образование. 2022. №50.
7. Пономарев Н.К., Щесняк Л.Е. Сопряжение вихревого водосброса с нижним бьефом путем отброса струи // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. №2.
8. Бухарцев В.Н. Речные гидротехнические сооружения. Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов: учеб. пособие – СПб: Изд-во Политехи, ун-та, 2011. – 108 с.
9. Кузьмин С.А. Речные гидротехнические сооружения. Высоконапорные водосбросные сооружения. Траншейные водосбросы: учеб, пособие / С.А. Кузьмин, Е.М. Драницын, И.Е. Фролова. – СПб.: Изд-во Политехи. ун-та, 2010. – 71 с.
10. Разрушение горных пород взрывом: электронный учебно-методический комплекс для специальностей 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых (по направлениям)», 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»/ С.Г. Оника, В.И. Стасевич, И.М. Ковалёва. – Минск: БНТУ, 2016. – 168 с.

РАСЧЁТ НЕОБТЕКАЕМОГО ОГРАДИТЕЛЬНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ  
НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЦУНАМИ

*Целью работы* является расчет и сравнение влияния различных нагрузок для выявления наиболее опасных для конкретного сооружения в заданном регионе.

Цунами – это опасное природное явление, представляющее собой морские волны, возникающие главным образом в результате сдвига вверх или вниз протяженных участков морского дна при подводных и прибрежных землетрясениях [1–5]. Цунамиопасными районами нашей страны являются Курилы, Камчатка, Сахалин, побережье Тихого океана.

*Материалы и методы:* выбор типа и конструкции сооружения производился в зависимости от заданных условий на основании требований нормативных документов, рекомендаций технической и учебной литературы по гидротехническому строительству.

Рассматривалось оградительное сооружение, предназначенного для защиты акватории от волнения, течений, наносов и воздействия цунами. Все расчеты велись для участка мола-причала вертикального профиля из массивов-гигантов, устойчивость которых обеспечивается собственной массой [6, 7].

В работе производился расчёт оградительного морского гидротехнического сооружения, предназначенного для защиты акватории на воздействие стоячих волн и волн типа цунами. Объект расположен на Камчатке в районе п. Вилюй; наименьшая глубина у причала: 10,0 м; отметки уровней спокойного моря: СВГ +2,6 м, СНГ = -0,2 м. Были заданы следующие величины приливов: квадратурная 1,3 м, сизигийная 2,8 м и элементы волн: внешней  $h_d = 6,0$  м,  $\lambda_d = 84$  м, внутренней  $h_{dif} = 1,0$  м,  $\lambda_{dif} = 84$  м. С учетом вероятности возникновения цунами в районе строительства заданы следующие параметры  $A = 0,14$  год<sup>-1</sup>;  $T = 12$  мин.;  $h_{100} = 10,9$  м;  $h_0 = 3,63$  м;  $\lambda_0 = 3565,6$  м.

На рис. 1 представлено поперечное сечение запроектированного сооружения.

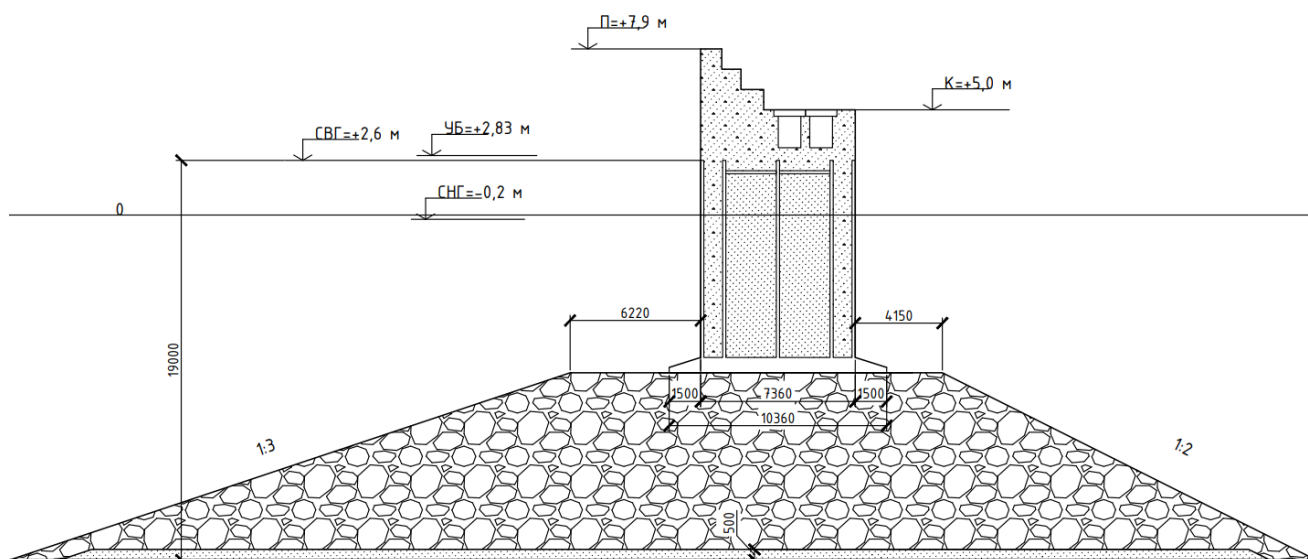


Рис. 1. Поперечное сечение мола-причала из массивов-гигантов

Ниже представлен итоги расчётов влияния нагрузок от спокойной воды и от цунами.

Расчет ординат эпюр волнового давления от стоячей волны выполнен в соответствии с рекомендациями СП 38.1330.2018 [9].

Итоговая эпюра представлена на рис. 2.

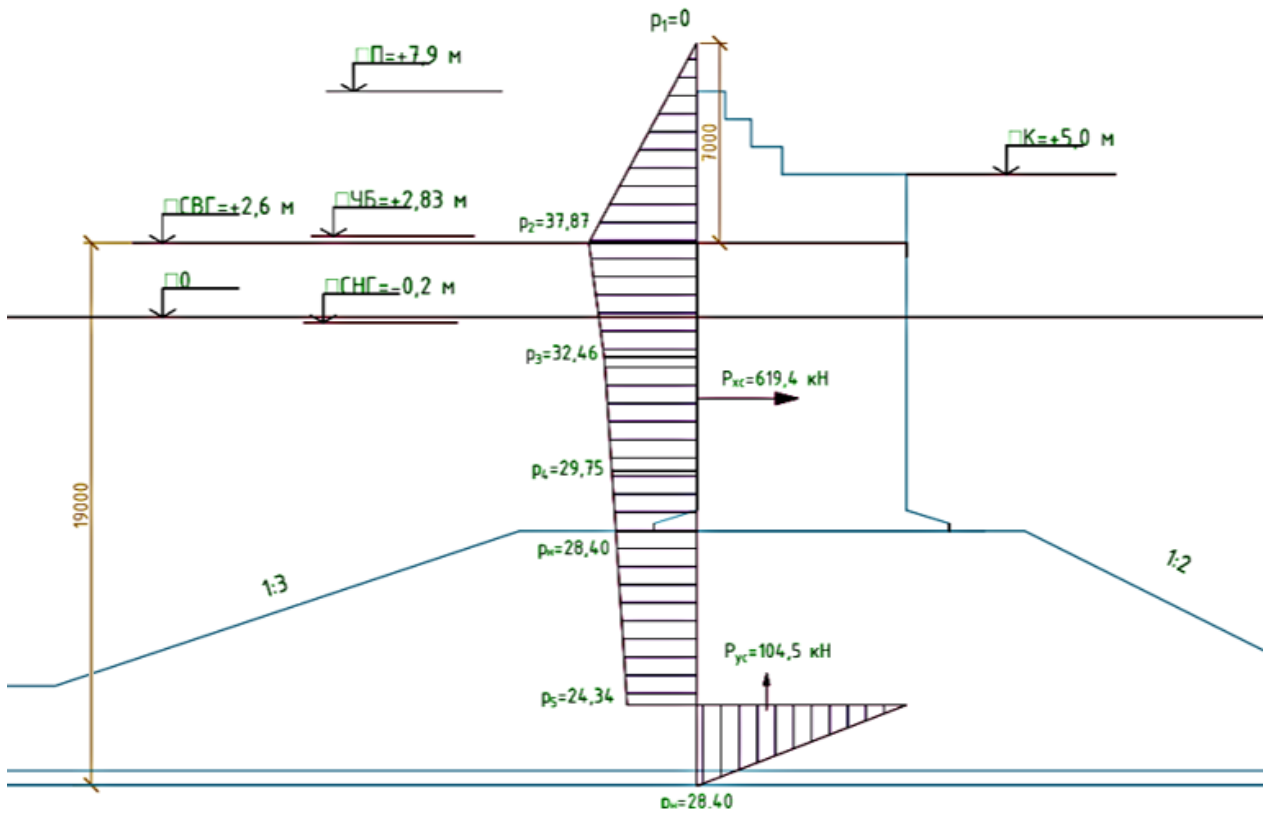


Рис. 2. Эпюра давления от стоячей волны

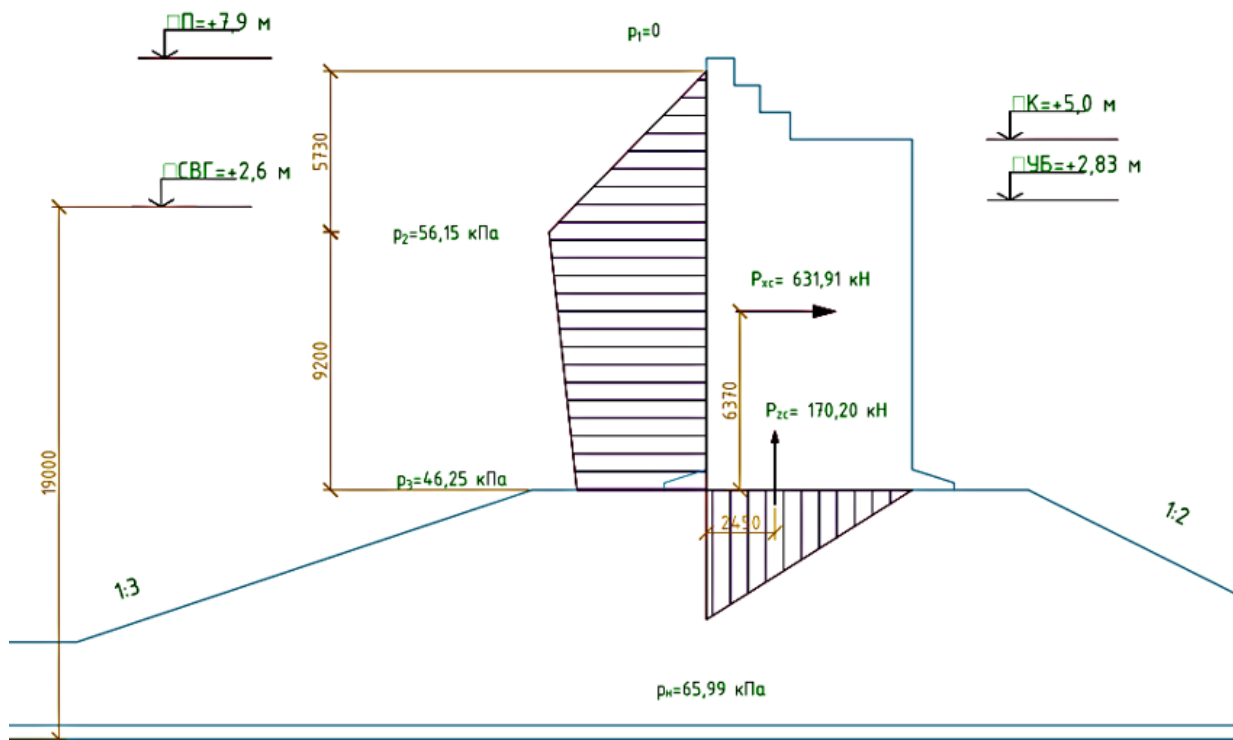


Рис. 3. Эпюра давления от волны типа цунами

Расчет ординат эпюр волнового давления от волны типа цунами выполнен в соответствии с рекомендациями СП 292.1325800.2017 [9].

Итоговая эпюра представлена на рис. 3.

*Результаты и обсуждения:* в итоге проведенных расчетов, выполненных в соответствии с СП 38.1330.2018 и СП 292.1325800.2017, были определены нагрузки от воздействия различных видов волн на оградительное морское гидротехническое сооружение.

Итогом расчетов нагрузок от стоячей волны, воспринимаемая сооружение со стороны акватории, равная  $P_{xc} = 619,4$  кН и вертикальная нагрузка на дно сооружения  $P_{zc} = 104,5$  кН.

В то же время, результатом расчетов нагрузок от цунами, воспринимаемая сооружение со стороны акватории, равная  $P_{xc} = 631,91$  кН и вертикальная нагрузка на дно сооружения  $P_{zc} = 170,20$  кН.

Сравнивая полученные значения, можно отметить, что в рассмотренном случае нагрузки от цунами превышают нагрузки, которые создают стоячие волны.

На основании проведенного сопоставления можно сделать *вывод* о том, что для сооружений, размещаемых в цунамиопасных районах, определение нагрузок от цунами и выполнение проверок на сдвиг и опрокидывание от такого воздействия являются обязательными.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев, Н.Д. Причины аварий причальных сооружений / Н. Д. Беляев // Предотвращение аварий зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова; под редакцией К. И. Еремина. Том Выпуск 3. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2003. – С. 34–39.
2. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
3. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Алексеева А.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Исследования изменений структуры грунта при воздействии волн цунами на гидротехнические сооружения. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10. № 4. С. 44–52.
4. Бабчик Д.В., Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Экспериментальная оценка нагрузок на плавучий объект от прямого воздействия волн цунами. Гидротехническое строительство. 2022. № 8. С. 15–21.
5. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Мишина А.В., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Экспериментальные исследования воздействия волн типа цунами на грунт у оснований морских гравитационных платформ. Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6 (50). С. 4–12.
6. Беляев Н.Д., Миронов М.Е. Морские гидротехнические сооружения. Основы, содержание и методика курсового проектирования. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 118 с.
7. Нудер И.С., Семенов К.К., Лебедев В.В., Беляев Н.Д. Воздействие волн цунами: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018 – 72 с.
8. СП 38.1330.2018. Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
9. СП 292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАЯКОРЕННОГО ПЛАВУЧЕГО ОБЪЕКТА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

В процессе освоения и развития Северного морского пути предполагается создание новой портовой инфраструктуры, в составе которой будут использоваться плавучие объекты различного назначения. При размещении таких объектов в цунамиопасных районах в обязательном порядке должен проводиться анализ воздействия на них волн типа цунами [1].

В настоящее время осуществить такую оценку возможно только с использованием физического моделирования, так как в результате проведения экспериментальных исследований можно определить перемещения плавучего объекта при воздействии на него волны цунами определенного профиля [2, 3].

Так как проявление цунами является событием малой вероятности, то фактические данные о процессе трансформации волны цунами в пределах береговой зоны в географической точке расположения практического объекта обычно отсутствуют. В этой связи исходные данные о воздействующей на натурный объект волне цунами (профиль волны, её длительность), необходимые для проведения экспериментальных исследований, можно получить только используя расчетные методы [3–5].

Установка, на которой проводились экспериментальные исследования воздействия волны цунами на плавучий объект, представляла собой бассейн, заполненный водой до определенной отметки, чтобы создать на участке проведения экспериментов заданную глубину. В головной части экспериментальной установки располагался пневмоволнопродуктор, предназначенный для моделирования волн цунами. В данном случае это был резервуар, который путем создания вакуума с помощью вакуумного насоса заполнялся водой до определенного объема (рис. 1). Путем срыва вакуума из резервуара волнопродуктора производился выпуск определенного объема воды с той или иной скоростью, что приводило к распространению на экспериментальной установке волны типа цунами [5–10].

Контроль параметров сгенерированной волны осуществлялся волномером, установленным в створе на границе размещения модели плавучего объекта. В том же створе устанавливался датчик скорости, с помощью которого определялись кинематические характеристики водного потока, обусловленного волной цунами. Измерения скорости в процессе подготовки эксперимента важны для контроля правильности выбора масштаба моделирования, так как ранее эта важная для физического моделирования кинематическая характеристика была получена только расчетным путем [4, 5].

Объект с якорными связями совершал определенные перемещения при различной ориентации относительно луча волны (крен, рыскание, дифферент). Для удержания модели плавучего объекта использовалась схема раскрепления с подвижными якорями (рис. 1). Принцип использования подвижных якорей заключается в том, что при воздействии волн цунами с высотой до определенного значения все якоря системы раскрепления плавучего объекта находятся в неподвижном состоянии. Если воздействующая на плавучий объект волна цунами имеет высоту превышающее назначенное значение, то возможно смещение якорей системы раскрепления на определенное расстояние. Такой подход дает возможность использования цепей с меньшим калибром за счет снижения в них значений расчетных усилий, так как они рассчитываются на меньшие значения высот волн, но позволяет якорным



цепям системы раскрепления объекта без разрывов выдерживать воздействия цунами с большими высотами волн, за счет возможности смещения плавучего объекта.



Рис. 1. Вид экспериментальной установки:  
1 – волнопродуктор волн цунами; 2 – модель плавучего объекта

На рисунке 2 приведен пример полученных в результате экспериментов перемещений вдоль продольной оси модели плавучего объекта, ориентированной относительно фронта волны цунами.

Как видно из рисунка, в результате воздействия волны цунами происходили колебания модели плавучего объекта вдоль продольной оси. Все колебания начинались с перемещения объекта по направлению навстречу распространения волны. При этом в процессе колебаний плавучего объекта вдоль этой оси происходило его смещение по направлению воздействия, т.е. в этом направлении смещался центр тяжести объекта. Указанные колебания происходили достаточно длительное время относительно времени действия волны с некоторым декрементом затухания.

Аналогичные результаты были получены и при анализе изменения углов, характеризующих крен, рыскание и дифферент.

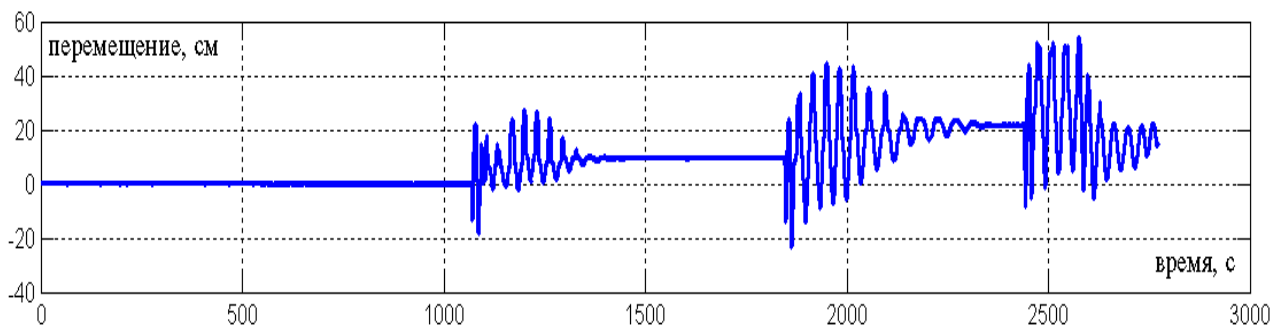


Рис. 2. Перемещения вдоль продольной оси модели плавучего объекта при воздействии на него волн цунами

### *Выводы*

Оценка предсказуемости поведения плавучего объекта во время воздействия на него волны цунами и в период после ее прохождения, помимо всего прочего, является элементом в оценке устойчивости и надежности этого объекта. При этом только анализ перемещений по всем трем направлениям и углов поворота, характеризующих его крен, рыскание и дифферент, позволяют ответить на вопрос – когда и каким образом происходит смещение плавучего объекта в случае использования в системе раскрепления схемы подвижных якорей. Кроме того, такой анализ может дать ответы на вопрос – в какой момент времени происходит разрыв якорной цепи и каким будет поведение объекта в результате возникновения такой аварийной ситуации в случае использования в системе раскрепления схемы жестких якорей.

Экспериментальные исследования различных проблем, связанных с воздействием волн цунами на гидротехнические сооружения, предъявляют определенные требования к условиям проведения таких экспериментов. В настоящее время в РФ отсутствует как экспериментальная база, так и измерительно-информационная система, в полном объеме позволяющая решать указанные задачи. Поэтому возникает насущный вопрос о необходимости создания такой базы, оснащенной современным измерительным оборудованием.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Минстрой России, 2017.
2. Bridges, K., Cox, D. T., Thomas, S., Shin, S., and Rueben, M., 2013. Large-scale wave basin experiments on the influence of large obstacles on tsunami inundation forces. *Coast. Struct.* 201, pp. 1237–1248. doi: 10.1142/9789814412216\_0107.
3. Veldman A.E.P., Luppens R., Bunnik T., et al. Extreme wave impact on offshore platforms and coastal constructions. *Proceedings of the International Conference on offshore mechanics and Arctic engineering*, Rotterdam, The Netherlands, 2011, pp. 365–376, <https://doi.org/10.1115/OMAEE2011-49488>.
4. Francis M.J., Yeh H. Tsunami Inundation Scour of Roadways, Bridges and Foundations. *Observations and Technical Guidance from the Great Sumatra Andaman Tsunami*. EERI/FEMA NEHRP 2006 Professional Fellowship Report. 34 p.
5. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Семенов К.К. Необходимость использования экспериментального метода при изучении цунами. *Гидротехническое строительство*, 2024, №5 (в печати).
6. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Экспериментальное определение усилий в якорных связях плавучего объекта при воздействии волн цунами // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. 2023. №70/71. С. 128–142.
7. Бабчик Д.В., Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И., Экспериментальная оценка нагрузок на плавучий объект от прямого воздействия волн цунами. *Гидротехническое строительство*, 2022, № 8, с. 15–21, <https://doi.org/10.34831/EP.2022.99.38.002>.
8. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Мишина А.В., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Экспериментальные исследования воздействия волн типа цунами на грунт у оснований морских гравитационных платформ. *Инженерно-строительный журнал*, №6(50), 2014. С. 4–12.
9. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Алексеева А.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Исследования изменений структуры грунта при воздействии волн цунами на гидротехнические сооружения. *Фундаментальная прикладная гидрофизика*. Том 10, № 4, 2017. С. 44–52.
10. Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Мишина А.В., Нуднер И.С., Семенов К.К., Щемелинин Д.И. Воздействие волн цунами на откосные берегоукрепительные сооружения с защитным слоем гексабитов. *Полярная механика*, №3, 2016. С. 1038–1049.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС  
В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ

В настоящее время существует острая проблема, связанная с утилизацией промышленных отходов. Хранение отходов различных производств занимает значительные площади территории земли, а также приводит к отравлению почв и загрязнению окружающей среды. При этом лишь небольшая доля отходов (5–7% по Российской Федерации) от общего объема, образованного за год, перерабатывается и используется как вторичное сырье. Применение отходов промышленности для создания новых композиционных строительных материалов является инновационным направлением в развитии строительной индустрии.

Большой практический интерес представляют исследования, направленные на вторичное использование переработанных пластмасс (например, измельченной резины автомобильных шин или поливинилхлорид) при производстве бетона и строительного раствора в качестве частичной замены (или полной) природных заполнителей.

Ниже представлен обзор работ по изучению характеристик механических свойств бетона и строительного раствора с использованием переработанной пластмассы.

В работе [1] сообщается, что замещение от 5 до 30% по объему гранитного щебня в бетоне на измельченный ПВХ (поливинилхлорид) привело к снижению прочности на растяжение при изгибе на 12–42% от прочности контрольных образцов (без ПВХ). Однако авторы отмечают, что стойкость к ударной нагрузке (способность к поглощению механической энергии) для составов бетона с содержанием ПВХ была значительно улучшена в сравнении с контрольным составом. Похожие результаты были получены в исследовании [2]. Строительный раствор с содержанием 20% ПВХ по объему взамен природного песка демонстрировал снижение прочности на сжатие и растяжение при изгибе соответственно на 13 и 16% по сравнению с контрольным составом. Существенное снижение прочности в работе [3] демонстрируют составы бетона при замещении (по массе) природного песка в бетоне на 30–45% ПВХ, однако значительно (на 35–46%) уменьшается теплопроводность.

Целью данной работы является исследование механических свойств строительного раствора с замещением природного песка на смесь измельченного поливинилхлорида (ПВХ) и полиэфирных волокон, которые являются переработанными отходами при производстве пластмасс.

*Материалы и методы.* Было приготовлено четыре состава раствора, а именно: контрольный состав (при содержании природного песка в растворе 100%) и три состава с заменой 2, 5 и 10% объема, занимаемого природным песком, на смесь измельченного ПВХ и полиэфирных волокон. Водоцементное отношение В/Ц для всех составов было 0,43. В таблице 1 представлены сведения о составах раствора.

Следующие материалы использовались для изготовления раствора: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н; природный песок с содержанием  $\text{SiO}_2$  не менее 81,4% и модулем крупности 2,2; микрокремнезем; водопроводная вода; смесь измельченного поливинилхлорида и полиэфирных волокон; суперпластификатор ViscoCrete-571.

Прочность раствора на сжатие и растяжение при изгибе определялась в возрасте 28 суток согласно стандарту ГОСТ 5802–86 [4] и ГОСТ 310.4-81 [5] на призмах с размерами 40 x 40 x 160 мм. При этом прочность на сжатие определялась при испытании половинок призм, полученных после испытания при изгибе. Испытания на ударную вязкость проводились по методике ГОСТ 30629–2011 [6] с помощью копра Пейджа на кубах с размером ребра 70 мм. Общий вид образцов при испытаниях представлен на рисунке 1.

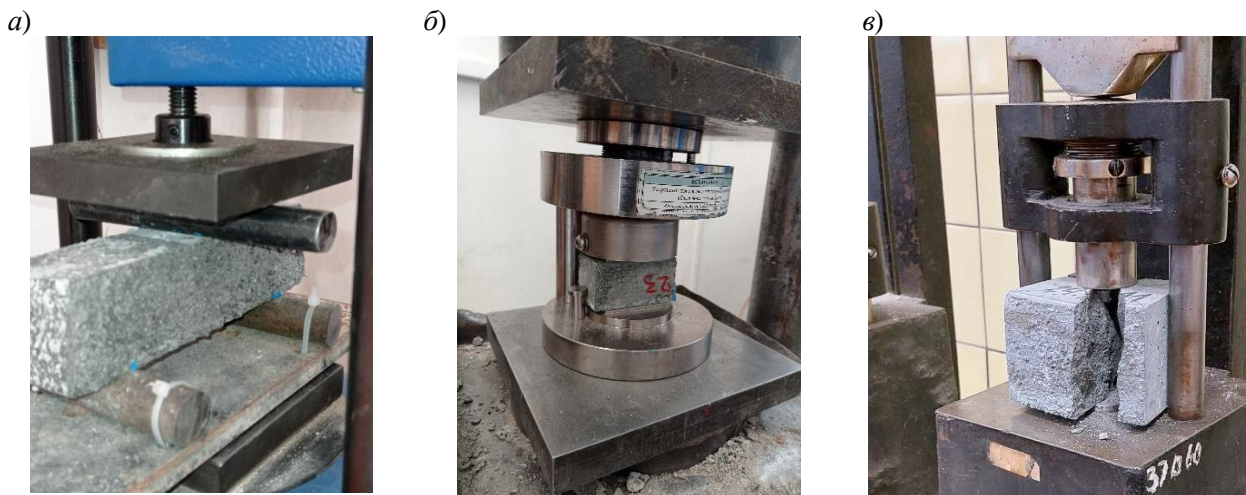


Рис. 1. Общий вид образцов раствора при испытаниях на сжатие (а), изгиб (б) и ударное воздействие (в)

*Результаты.* На рисунках 2 и 3 приведены результаты испытаний образцов раствора для четырех составов.

Таблица 2 – Расходы материалов на кг/м<sup>3</sup> раствора

№ состава	Наименование	Расходы материалов на кг/м <sup>3</sup> раствора (в % от массы цемента)					
		Цемент	Песок	Вода	МК	ПВХ и ПВ	СП
1	Контрольный состав	499	1522	240	55	–	–
2	Смесь ПВХ и ПВ 2%		1466			30	1,29%
3	Смесь ПВХ и ПВ 5%		1380			76	1,39%
4	Смесь ПВХ и ПВ 10%		1237			151	2,50%

В таблице используются следующие обозначения: МК – микрокремнезем; ПВХ – поливинилхлорид, ПВ – полиэфирные волокна; СП – суперпластификатор.

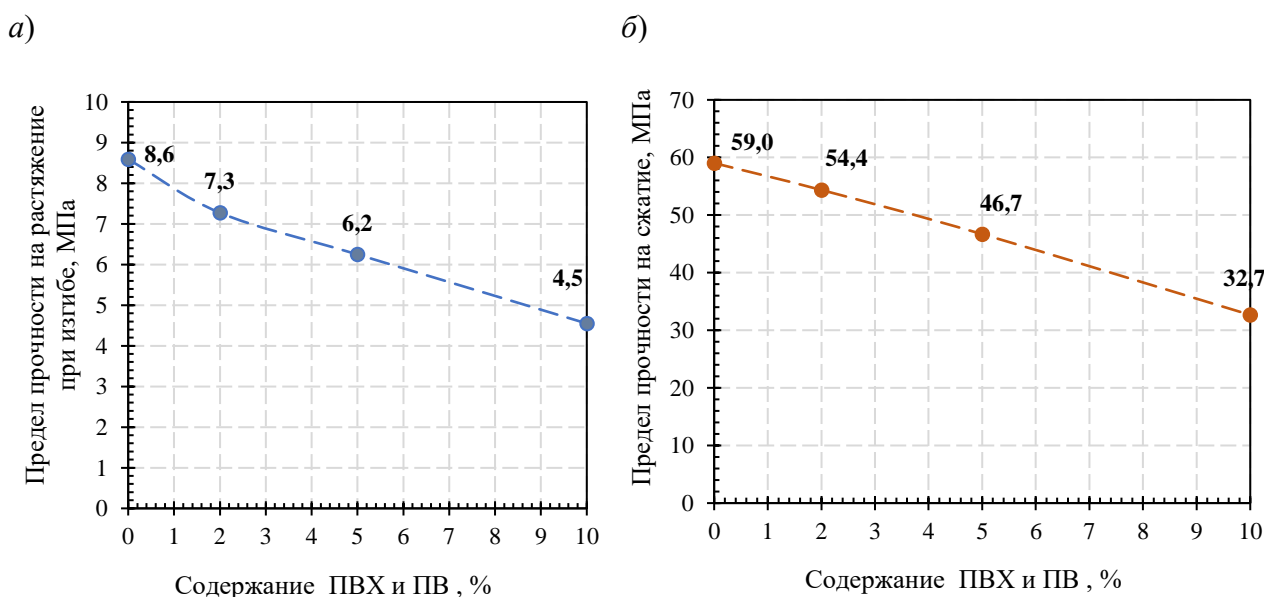


Рис. 2. Изменение предела прочности на сжатие (а) и растяжение при изгибе (б) в зависимости от содержания измельченного ПВХ и полиэфирных волокон в % от общего объема заполнителя в растворе

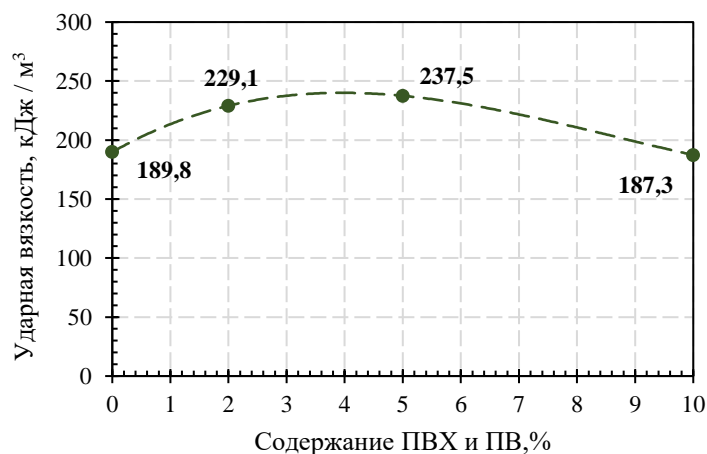


Рис. 3. Изменение ударной вязкости в зависимости от содержания измельченного ПВХ и полиэфирных волокон в % от общего объема заполнителя в растворе

Растворы с частичным замещением природного песка в объеме 2, 5 и 10% от общего объема заполнителя на смесь измельченного ПВХ и полиэфирных волокон демонстрировали снижение прочности на сжатие и растяжение при изгибе. При этом прочность на сжатие составила 92,1, 79,1 и 55,3% от прочности образцов контрольного состава соответственно для составов раствора с замещением 2, 5 и 10%, а прочность на растяжение соответственно составила 84,7, 72,7 и 53,0%. Кроме того, изменение прочности раствора на сжатие и растяжение при изгибе в зависимости от содержания ПВХ и полиэфирных волокон в составе заполнителя имело схожую тенденцию.

Полученные результаты в опытах при испытании образцов раствора четырех составов на ударное воздействие показывают, что составы раствора с замещением 2 и 5% объема природного песка показывают увеличение ударной вязкости на 21 и 25% по сравнению с образцами контрольного состава. Однако ударная вязкость для состава раствора с замещением 10% песка составила 98,7% от ударной вязкости контрольного состава.

*Выводы.* Введение в состав раствора измельченного поливинилхлорида (ПВХ) и полиэфирных волокон в качестве частичной замены (по объему) природного песка неблагоприятно сказывается на прочности на сжатие и растяжение при изгибе. Составы раствора с замещением песка до 5% демонстрируют значительное увеличение ударной вязкости на 21–25%. Таким образом, строительный раствор и бетон с содержанием смеси измельченного ПВХ и полиэфирных волокон в качестве мелкого заполнителя может иметь хороший потенциал для использования в конструкциях и изделиях, подвергающихся ударным воздействиям.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Hu S., Tang H., Han S. Energy Absorption Characteristics of PVC Coarse Aggregate Concrete under Impact Load // Int J Concr Struct Mater. Springer, 2021. Vol. 15, № 1. P. 1–16.
2. Sokolnikova S., Puzatova A., Dmitrieva M. The Use of PVC Waste in Concrete with the Addition of PVAc // Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023. Vol. 308. P. 147–156.
3. Ceran Ö.B. et al. PVC concrete composites: comparative study with other polymer concrete in terms of mechanical, thermal and electrical properties // J Mater Cycles Waste Manag. Springer Tokyo, 2019. Vol. 21, № 4. P. 818–828.
4. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний. 1986.
5. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями N 1, 2). 1983.
6. ГОСТ 30629-2011 Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. 2012.

УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ГРУПП ВИСЯЧИХ ЗАБИВНЫХ СВАЙ  
С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТАХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

При проектировании свайных фундаментов с целью выполнения требований к механической безопасности зданий и сооружений (ЗиС) Федерального закона № 384-ФЗ [1] на обязательной основе должны применяться разделы и пункты СП 22.13330.2016 [2] и СП 24.13330.2011 [3]. Согласно статье 16 закона [1] при расчетном обосновании ненаступления предельных состояний (ПС) I и II групп расчетные схемы и основные предпосылки расчета должны отражать действительные условия работы ЗиС и учитывать особенности взаимодействия строительных конструкций (СК) между собой и с основанием. По п.7.1.2 СП [3] математические расчетные модели механического поведения свайных фундаментов для ПС I и II групп могут представляться в аналитическом или численном виде, при этом для расчетов несущей способности и осадок одиночных свай рекомендуются аналитические решения СП [3], а расчеты большегабаритных свайных кустов и комбинированных свайно-плитных фундаментов (КСП) рекомендуется проводить численно. Также согласно п.7.1.2 [3] при проведении компьютерных расчетов системы «сооружение – основание» следует учитывать неопределенности назначения расчетной модели и рекомендуется для отдельных её элементов проводить сопоставление результатов численных расчетов с аналитическими решениями. В статье приведены результаты расчетов сборного железобетонного связевого каркаса (по Серии 1.022 КЛ2) 5-этажной автостоянки с фундаментами колонн в виде монолитных ростверков (Серия 1.411.1-2/91) и кустов висячих забивных свай (по Серии 1.011.1-10), учитывающих фактическую грунтовую обстановку площадки строительства.

*Цель работы* – оценка достоверности результатов компьютерных расчетов осадок фундаментов здания, полученных на основе предлагаемой структуры конечноэлементных моделей малых групп висячих забивных свай в грунтовых массивах, по критерию близости к аналитическим решениям по формулам актуальных нормативных документов.

Расчетная конечноэлементная пространственная модель (рис. 1) несущей системы автостоянки в виде совокупности каркаса и фундаментных конструкций создавалась средствами программного комплекса (ПК) «ЛИРА-САПР» [4]. В составе модели: стержневые КЭ10, моделирующие колонны, ригели, сопряжения диафрагм жесткости между собой и с колоннами, висячие сваи и их жесткие вставки, составляющие сечения свай; универсальные КЭ44 тонких оболочек, моделирующие диафрагмы жесткости, связевые плиты-распорки перекрытий и плитные части ростверков. Жесткостные характеристики конечных элементов (КЭ) учитывают упругую стадию работы материалов, а условия взаимодействия КЭ и задаваемые

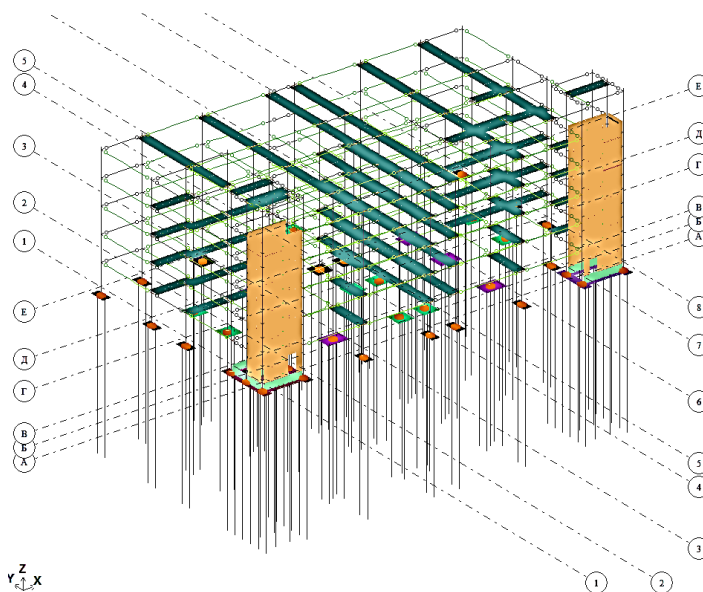


Рис. 1. Расчетная МКЭ модель несущей системы

загружения отражают конструктивную схему здания, его назначение и условия эксплуатации. Количество и длина висячих свай назначались расчетами их несущей способности по грунту согласно [3] с учетом расчетных усилий в колоннах.

На основе результатов инженерно-геологических изысканий средствами модуля «Грунт» в составе ПК «ЛИРА-САПР» создавалась отдельная информационная модель грунтового основания: задавалось расположение и отметки устьев геологических скважин (рис. 2) в системе координат рассчитываемого объекта, а также характеристики (рис. 3) инженерно-геологических элементов (ИГЭ), формирующих грунтовые напластования в пределах разведанной глубины скважин. Информационная модель грунтового основания средствами ПК «ЛИРА-САПР» должна быть преобразована в расчетную модель (рис. 4) из объемных КЭ31 и КЭ33 (с 6 степенями свободы в узлах; для физически линейных задач) для дальнейшего объединения с МКЭ моделью несущей системы здания.

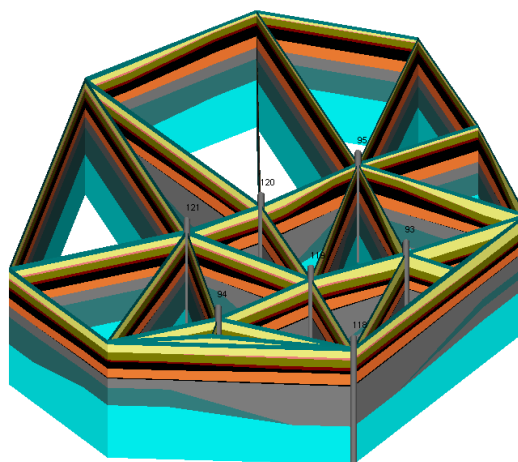


Рис. 2. Информационная модель грунтового основания

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер ИГЭ	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, тс/м**2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м**3	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Угол внутреннего трения, °			
1	1	Суглинки легкие пылеватые серовато-коричневые		1150	0.35	2.03	5	0.21	0.3	W	0.616	16			
2	2	Супеси пылеватые серовато-коричневые		900	0.3	2.03	5	0.23	0.84	W	0.624	19			
3	3	Суглинки легкие пылеватые серовато-коричневые		700	0.35	1.94	5	0.28	0.81	W	0.784	16			
4	4	Суглинки тяжелые пылеватые коричневые		500	0.35	1.8	5	0.4	1.04	W	1.105	9			
5	5	Суглинки тяжелые пылеватые серые		650	0.35	1.89	5	0.32	0.83	W	0.902	15			
6	6	Супеси пылеватые серые с гравием		1000	0.3	2.13	5	0.16	0.59	W	0.458	25			
7	7	Супеси пылеватые серые с гравием, галькой, ...		1100	0.3	2.18	5	0.15	0.29	W	0.413	24			
8	8	Супеси песчанистые серые с гравием		2300	0.3	2.28	5	0.09	-0.24	W	0.283	30			
9	9	Суглинки легкие пылеватые серые с гравием		1800	0.35	2.18	5	0.15	-0.31	W	0.423	19			
10	17	Супеси песчанистые серовато-коричневые с гравием		2500	0.3	2.29	5	0.09	-0.41	W	0.271	34			

Рис. 3. Характеристики ИГЭ в информационной модели грунтового основания

Для такого объединения использовались следующие приемы моделирования и идеализации:

1. План расчетной модели основания разбивался на сеть КЭ с учетом расположения узлов КЭ10 свай и их стержневых жестких вставок. Размеры в плане должны исключать влияние граничных условий (связей) массива КЭ грунтов на результаты расчетов;

2. Принадлежность центра тяжести объемного КЭ определенному ИГЭ в информационной модели (рис. 2) грунта определяет его жесткостные характеристики. Поэтому расчетная модель основания делилась на слои конечных элементов высотой не более 1,0 м для достижения приемлемой точности соответствия жесткостей КЭ грунтов характеристикам тех ИГЭ, которые они моделируют. Нагрузки от собственного веса грунтов к моделирующим их КЭ не прикладывались;

3. Длина свай в расчетной модели разбивалась на отдельные КЭ10 узлами так, чтобы эти узлы (а также моделирующие сечения свай жесткие вставки) оказывались на тех же высотных отметках, что и соответствующие им узлы объемных КЭ грунтов для «сшивки» узлов КЭ свай и грунтов и обеспечения их совместной работы. Пластинчатые КЭ44 ростверков не взаимодействуют с объемными КЭ грунтов;

4. Суммарная толщина слоев из конечных элементов грунтов ниже отметки острия висячих свай в расчетной модели соответствует ожидаемой глубине сжимаемой толщи под свайными кустами. Эта величина оказывает определяющее влияние на величины осадок, определяемые с помощью расчетной МКЭ модели описанной структуры.

Глубина сжимаемой толщи (ГСТ) определяется (п.5.6.41 [2]) при расчете осадки основания методом послойного суммирования (п.5.6.31 [2]) с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства. Согласно п.7.4.1 актуализированного СП [3] положения расчетов осадок различаются для: а) одиночной висячей сваи; б) малой группы (до 25 шт.) свай (т.е. свайного куста); в) большой группы свай (свайного поля). Расчет осадки свайного куста (п.7.4.4 [3]) учитывает осадку каждой сваи как одиночной и дополнительную ее осадку от наличия соседних (т.е. взаимное влияние свай), при этом ГСТ в расчете не участвует. Согласно п.6.1 действующего ранее СНиП 2.02.03-85 [5] расчет фундамента из висячих свай (при любом их количестве) и его основания по деформациям производится как для условного фундамента на естественном основании, т.е. с определением глубины сжимаемой толщи. ГСТ под свайными кустами рассчитываемого объекта определялась по методу послойного суммирования (п.5.6.31 [2]) для наиболее нагруженного фундамента 3/Д (5 свай сечением 350 × 350 мм, длиной 17 м) при рассмотрении его как условного (с размерами по п.7.4.7 [3]) на естественном основании. Для него нагрузка от колонны 2700 кН; согласно расчетам по [2] от такой нагрузки осадка составила 12,3 мм при ГСТ 2,65 м. Следует отметить, что для того же фундамента 3/Д осадка по п.7.4.5 [3] с учетом взаимовлияния свай в кусте составила 14,02 мм. В расчетной МКЭ модели грунтового основания величина сжимаемой толщи 2,65 м была принята одинаковой под всеми фундаментами.

На рис. 4 деформированная схема основания автостоянки от сочетания нагрузок (РСН) с нормативными нагрузками на каркас по результатам компьютерного МКЭ расчета. По цветовой шкале и изолиниям видно, что вертикальные узловые перемещения на поверхности модели (т.е. осадки свайных фундаментов) достигают 14 мм. Эта величина характерна для области расположения фундамента 3/Д (видно по разбивочным осям) и близка к его осадкам 12,3 мм и 14,02 мм, подсчитанным по аналитическим методикам Сводов правил [2] и [3].

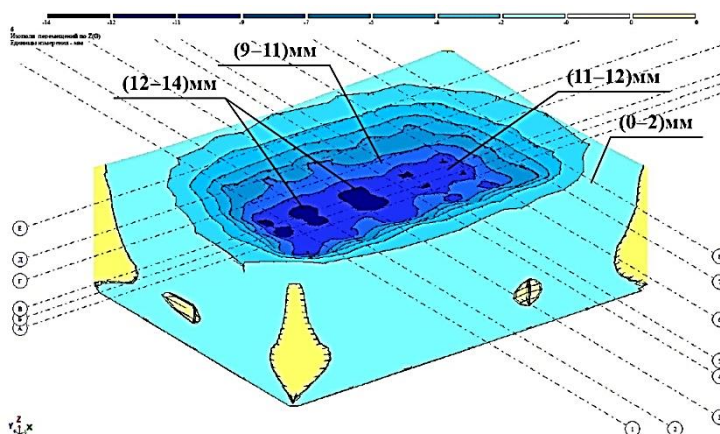


Рис. 4. Деформированная схема расчетной МКЭ модели грунтового основания и величины вертикальных перемещений ее узлов

**Вывод.** На основе МКЭ модели предложенной структуры выполнены требования об учете взаимодействия несущей системы здания с основанием и получены величины осадок свайных кустов, близкие к аналитическим решениям актуальных норм проектирования, что позволяет рекомендовать описанную методику к применению в инженерной практике.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). – М.: Собрание законодательства РФ, 2010.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. – М.: Минстрой России, 2016. – 225 с.
3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М.: Минрегион России, 2011. – 83с.
4. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – М: Изд-во АСВ, 2009. – 360 с.
5. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: Госстрой СССР, 1985.



НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК  
НА ШЕЛЬФОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

*Цель работы* – аналитическое сравнение применимости российских нормативных методик расчета ледовых нагрузок на шельфовые гидротехнические сооружения.

Арктика является важным регионом по целому ряду причин, среди которых: транспортная связность территорий [1], залежи разведанных полезных ископаемых, и потенциальные большие залежи неразведанных полезных ископаемых (до 30% мировых неразведанных запасов газа и 13% мировых неразведанных запасов нефти [2]).

Для успешной реализации освоения арктического шельфа необходимы корректные значения ледовых нагрузок [3]. Нормативные документы, применяемые для расчета ледовых нагрузок, разработаны государствами, имеющими интерес к освоению Арктики. В зарубежных странах применяют следующие нормативные документы для расчета ледовых нагрузок [4–8].

В Российской Федерации на начало 2024 г. применяются нормативные документы, представленные в таблице 1.

СП 38.13330 регулярно обновляется, так в последней версии 2018 г. были изменены некоторые методы расчета ледовых нагрузок, в том числе при термическом расширении льда [9–10].

Таблица 1 – Нормативные документы, применяемые в Российской Федерации, для расчета значений ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения

№ п/п	Шифр	Наименование документа
1	СП 38.13330.2018	Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)
2	П 58-76	Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов)
3	СТО Газпром 2-3.7-29-2005	Методика расчета ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу
4	НД № 2-020201-027	Российский морской регистр судоходства, правила классификации и постройки морских стационарных платформ, часть II

На основе анализа нормативных источников по табл. 1 можно сделать вывод, что расчетные методики демонстрируют отсутствие в настоящее время обобщающего решения задачи по расчету нагрузок от морского льда на гидротехнические сооружения.

Был проведен анализ различий расчетных значений ледовых нагрузок, определенных в соответствии с нормативными документами, представленными в таблице 1. Для этого в работе был выполнен расчет нагрузки от воздействия ровного льда в соответствии с каждым указанным нормативным документом.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 2. Модель, на которую были рассчитаны нагрузки показана на рисунке 1.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета ледовой нагрузки

№ п/п	Величина	Значение	№ п/п	Величина	Значение
1	Скорость движения ледяного поля, м/с	0,50	4	Предел прочности льда на сжатие, МПа	2,50
2	Обеспеченная толщина ровного льда 0,1%, м	2,25	5	Половина угла заострения передней грани опоры в плане на уровне действия льда, град.	70
3	Максимальная площадь ледяного поля, м <sup>2</sup>	2 000 000,00	6	Ширина опоры по фронту, м	12,50

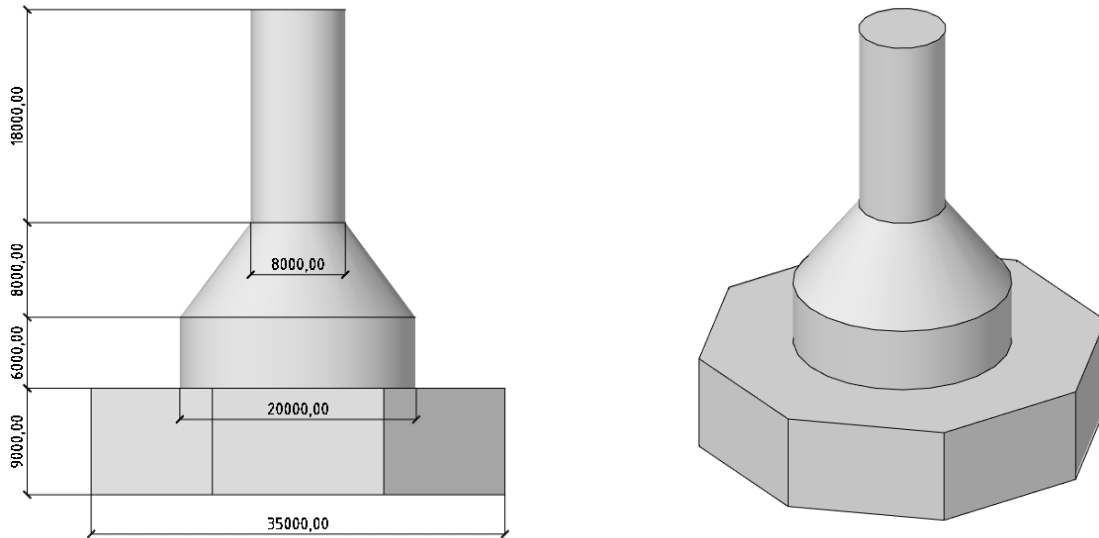


Рис. 1. Расчетная модель (стационарный морской ледостойкий отгрузочный терминал)

По исходным данным и формулам из нормативных документов сведена таблица 3, показывающая различия методик расчета и значений одной и той же ледовой нагрузки.

Таблица 3 – Расчетные значения ледовой нагрузки от воздействия ровного льда

№ п/п	Шифр	Применяемая формула	Значение, МН
1	СП 38.13330.2018	$F = 1,26 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{m A k_b k_V R_c \rho \operatorname{tg} \gamma}$	33,85
3	П 58-76	$P = m_j R_p b h_l$	31,65
4	СТО Газпром 2-3.7-29-2005	$F = m k R_c D h_d$	29,88
5	Российский морской регистр судоходства	$F = m K_I K_V \sigma_c D^{0,85} h^{0,9}$	39,95

По данным табл. 3 построен график значений ледовой нагрузки, найденной при использовании рекомендаций различных нормативных документов (рис. 2) и выполнен краткий статистический анализ полученных значений, результаты которого представлены ниже:

- среднее значение 33,83 МН;
- медиана 34,92 МН;
- размах 10,07 МН;
- дисперсия 19,26;
- среднее квадратичное отклонение 4,39.

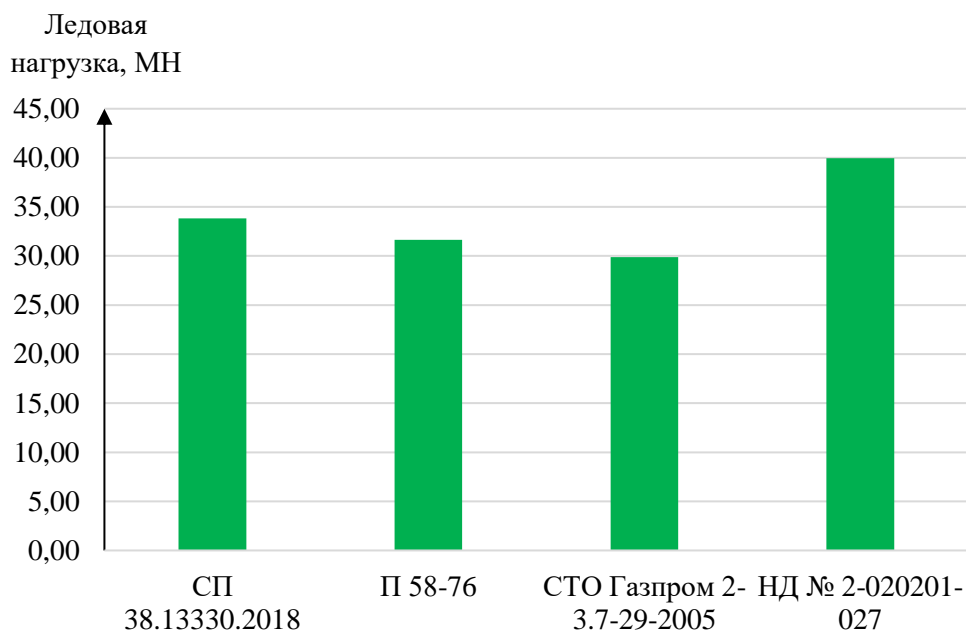


Рис. 2. График значений ледовой нагрузки, определенной по различным нормативным документам

*Выводы.* Минимальная нагрузка для принятых исходных данных получилась при расчете по рекомендациям СТО Газпром 2-3.7-29-2005, максимальная – при расчете по методике НД № 2-020201-027 Российского морского регистра. Проведенные в работе расчеты, показали различие в результатах по разным нормативным документам. Таким образом, при использовании расчетного подхода из какого-либо нормативного документа, нужно иметь аргументацию в пользу его использования, в том числе юридическую.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шарапов Д.А. Гидротехническое строительство. Порты Северного морского пути / Д.А. Шарапов, А.С. Большев, И.Е. Фролова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 100 с. – ISBN 978-5-7422-8126-9.
2. Лукин Ю.Ф. Российская Арктика в изменяющемся мире: монография / Ю.Ф. Лукин; Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013, стр. 8.
3. Савельева В.В. Шельфовые сооружения в суровых условиях Арктики// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral".
4. DS/ISO 19906-2019 Petroleum and natural gas industries –Arctic offshore structures. International Organization for Standardization, 2010.
5. API-RP-2N Рекомендуемая практика планирования, проектирования и строительства конструкций и трубопроводов для арктических условий. Американский институт нефти, 1995.
6. CAN/CSA-S471 – 92. General Requirements, Design Criteria, Environment, Loads. National Standard of Canada, 2004.
7. Germanischer Lloyd. Oil and Gas GmbH: General Terms and Conditions. Hamburg, 2005.
8. US Army Corps of Engineers. Engineering and Design-Ice Engineering. USACE Engineer Manual EM 1110-2-1612, 2006.
9. Шарапов Д.А. Особенности расчёта нагрузок при термическом расширении льда / Д.А. Шарапов, С.А. Андреева // Гидротехническое строительство. – 2023. – № 8. – С. 2–11.
10. Анализ нового нормативного подхода к расчёту ледовой нагрузки на свайные ряды / С.А. Андреева, Д.А. Шарапов, Е.Е. Кудряшова, В.В. Савельева // Гидротехническое строительство. – 2024. – № 1. – С. 27–33.

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
С МОБИЛЬНЫХ МОДУЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

*Цель работы* – оценить перспективы реализации инженерно-геологических исследований с мобильных модульных платформ.

В связи с истощением запасов углеводородов на суше, в последние 40–50 лет добыча их все больше смещается в сторону континентального шельфа. Изучение континентального шельфа является одним из приоритетных направлений развития мировой экономики. Добыча полезных ископаемых, создание новых транспортных путей и освоение энергетических ресурсов – все это требует тщательного анализа геологических условий и геотехнических процессов на данной территории. Перспективы реализации инженерно-геологических исследований на континентальном шельфе с использованием мобильных модульных платформ представляют особый интерес для специалистов в области геологии, геотехники и строительства. Такие платформы обладают рядом преимуществ, которые позволяют проводить исследования оперативно, гибко и экономично. В данной статье будут рассмотрены основные преимущества и возможности использования мобильных модульных платформ для инженерно-геологических исследований на континентальном шельфе. Мы также обсудим ситуацию в мире по освоению континентального шельфа.

По информации [1] на данный момент большая часть мирового континентального шельфа остается неисследованной. Можно отметить, что в Европе лидером разведки углеводородов на шельфе является Великобритания.

На Североамериканском континенте похожая ситуация, разведка в основном ведется в Мексиканском заливе. На западном побережье континента разведка не проводится.

На Африканский континент приходится 8% мировых запасов жидкого минерального углеводородного сырья (нефть, газовый конденсат) и 7% – газового (свободный природный и попутный нефтяной газ) [1, 2]. Также можно отметить, что самым исследованным является континентальный шельф Африки.

Анализируя информацию, изложенную выше, можно понять, что разведка и добыча углеводородов на континентальном шельфе активно ведутся, но большая часть мирового шельфа все равно остается не исследованной.

Согласно [3] основные задачи инженерно-геологических изысканий на шельфе включают:

1. Комплексное изучение инженерно-геологических условий района изысканий (площадки, трассы), в том числе геологическое строение, геокриологические и сеймотектонические условия; состав, состояние, свойства и температуру грунтов; геологические и инженерно-геологические процессы и явления;
2. Определение категории сложности инженерно-геологических условий для проектируемых сооружений;
3. Составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой.

Для всех вышеперечисленных задач активно применяются мобильные модульные платформы.

Преимущества мобильных модульных платформ для нефтегазовых компаний:

1. Гибкость и мобильность: мобильные модульные платформы позволяют компаниям быстро реагировать на изменения в рынке и осуществлять разработку новых месторождений. Они

могут быть перемещены с одного места на другое, что снижает затраты на строительство новых стационарных платформ;

2. Экологичность: мобильные платформы позволяют минимизировать воздействие на окружающую среду, так как они могут быть размещены в районах, где строительство стационарных платформ может быть более вредным для окружающей среды;
3. Снижение затрат: используя мобильные платформы, нефтегазовые компании могут снизить затраты на их установку, эксплуатацию и обслуживание, так как нет необходимости строить стационарные структуры;
4. Увеличение производительности: использование мобильных модульных платформ может увеличить производительность компании, так как позволяет быстро вводить новые месторождения в эксплуатацию.

По информации статьи [4]: модульные буровые установки (МБУ) предназначены для автономной работы и выполняют бурение и заканчивание, текущий и капитальный ремонт скважин, а также их ликвидацию. МБУ относительно легко устанавливается на платформе и также легко демонтируется для переоснащения и/или перемещения на другую точку.

Сами модули можно конфигурировать в любом положении относительно буровой (рис. 1), что увеличивает количество доступных слотов на рабочей площадке МБУ без ее фактического увеличения.

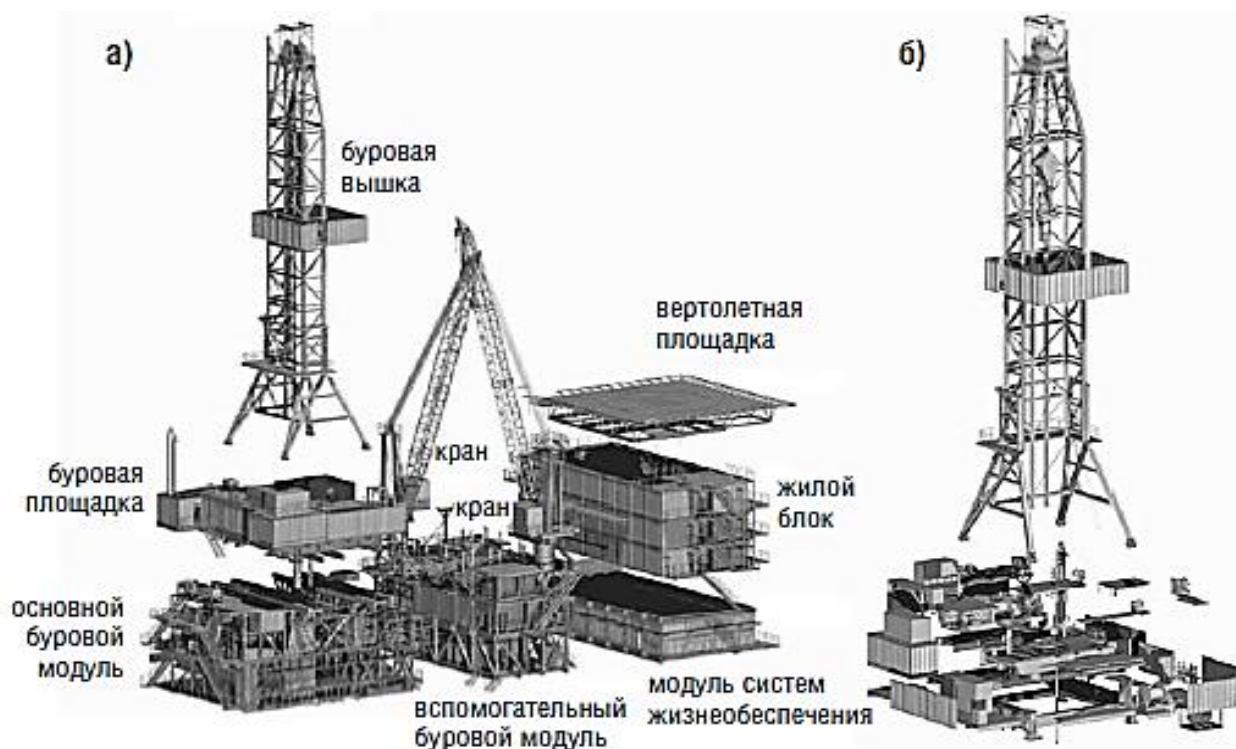


Рис. 1. Модульные буровые установки:  
а – основные модули МБУ; б – пример разбивки одного модуля на блоки

Опираясь на вышесказанное, обобщим информацию и оценим перспективы реализации инженерно-геологических исследований с мобильных модульных платформ. Чтобы делать соответствующие выводы необходимо обратиться к статистике. Прогнозные оценки объёмов добычи нефти и газа на континентальном шельфе России [5] приведены на рисунках 2 и 3, соответственно.

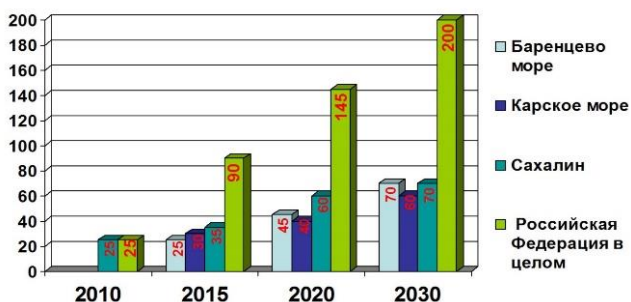


Рис. 2. Прогнозные оценки объемов добычи газа на континентальном шельфе России, млн т

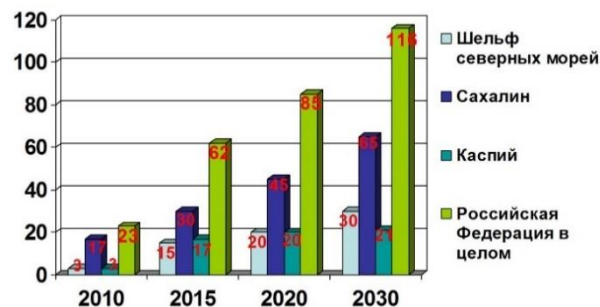


Рис. 3. Прогнозные оценки объемов добычи нефти на континентальном шельфе России, млн т

Анализируя диаграммы, можно с уверенностью говорить о том, что в ближайшее десятилетие объемы добычи углеводородов будут расти. Следовательно, и разведка месторождений, в том числе с мобильных модульных платформ, будет резонна. Однако не стоит упускать из внимания тот факт, что сейчас мы проживаем четвертый энергетических переход, характеризуемый широким внедрением возобновляемых источников энергии.

По информации [6] жидкие насыщенные углеводороды и хлорпроизводные метана и этан используют в качестве растворителей, твердые (парафин, церезин) применяют в производстве пластмасс, каучуков, синтетических волокон, моющих средств, а также в пищевой промышленности, электро- и радиотехнике. Сфера применения углеводородов постоянно расширяется. Открываются новые интересные потребительские качества углеводородов, внедряются технологии их глубокой переработки. Рынок перспективный, развивающийся, формирующийся.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие *выводы*:

1. Использование мобильных модульных платформ при проведении инженерно-геологических исследований имеет ряд преимуществ для нефтегазовых компаний и активно применяется в разведке углеводородов.
2. Разведка месторождений модульными мобильными платформами на континентальном шельфе будет рентабельна еще несколько десятилетий, тем не менее углеводороды в долгосрочной перспективе имеют тренд на снижение своей доли в энергетической системе. Однако альтернативы им в химической и нефтехимической промышленности пока не найдены.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Нефтяная карта мира 2024 [Электронный ресурс]: дата обращения 14.01.2024. – режим доступа: <https://www.oilmap.xyz/>.
2. Нефтегазовая промышленность [Электронный ресурс]: дата обращения 11.02.2024. – режим доступа: <https://nprom.online/trends/nyeft-v-afreekye-otsyeneevayem-seetuatseeyu-ee-eeshyem-ryerspyekteevi/>.
3. СП 504. 1325800.2021. Инженерные изыскания для строительства на континентальном шельфе. Общие требования.
4. Зубков С.К., Дряхлов В.С., Каменский Г.А., Резанов К.С. Модульные буровые установки для повышения эффективности добычи на шельфе. Neftegaz.RU, №1, январь 2023.
5. Лаверов Н.П., Дмитриевский А.Н., Пашин В.М. и др. – Перспективы освоения нефтегазового комплекса Арктического шельфа России. – Материалы конференции RAO/CIS Offshore, СПб, 2009.
6. Области применения углеводородов [Электронный ресурс]: дата обращения 19.01.2024. – режим доступа: [https://studbooks.net/2499311/tovarovedenie/oblasti\\_primeneniya\\_uglevodorodov](https://studbooks.net/2499311/tovarovedenie/oblasti_primeneniya_uglevodorodov).

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ  
ДЕРЕВЯННОЙ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

При проектировании деревянных ферм на выбор оптимального конструктивного решения влияет их экономичность, зависящая от расхода материалов, от трудоемкости изготовления и монтажа. Геометрическая схема однопролетных ферм (треугольная, прямоугольная, полигональная, сегментная) определяет распределение усилий в стержневых элементах поясов и решетки, влияет на размеры подбираемых сечений и расход материалов [1]. По эффективности на первом месте сегментные фермы с геометрической схемой, близкой к очертаниям эпюры моментов, а на последнем треугольные с рациональным применением для малых и средних пролетов, кровель со значительным уклоном [2]. В статье приведены результаты проектирования треугольной «Ф1» и полигональной «Ф2» ферм пролетом 12 м из брусев (рис. 1). В обоих вариантах ферма шарнирно опирается на оголовки колонн и находится в составе поперечной рамы производственного здания, её раскрепления из плоскости обеспечены связевыми конструкциями и прогонами в узлах верхнего пояса. Нагрузки и условия эксплуатации для ферм одинаковы.

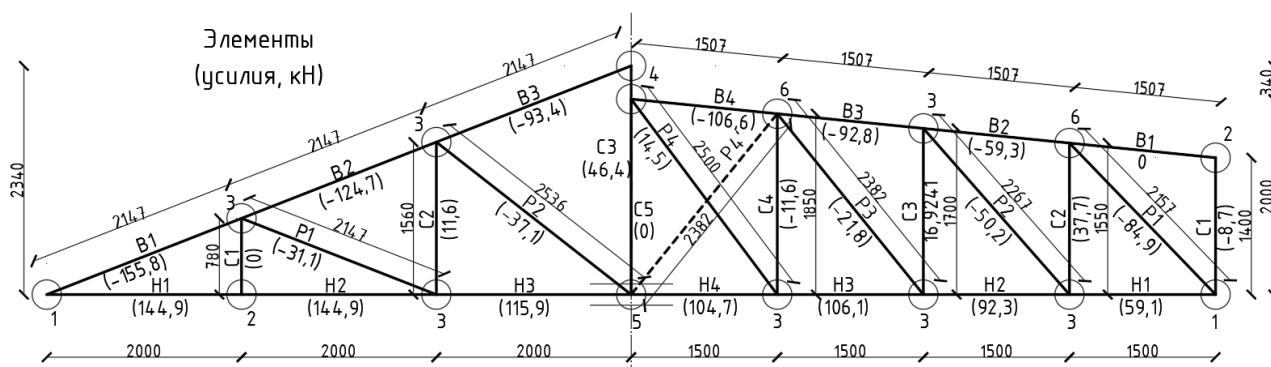


Рис. 1. Геометрические схемы треугольной (слева) и полигональной двускатной (справа) ферм (условно показана половина пролета) и их узлы: 1 – опорные; 2 – простые; 3 – стандартные; 4 – коньковые; 5 – центральные в месте стыка нижнего пояса; 6 – особые

*Цель работы* – определение оптимальной геометрической схемы деревянной стропильной фермы пролетом 12 м по критерию минимальных затрат материалов при обеспечении ее механической безопасности. *Задачи*: 1) подбор сечений стержневых элементов и параметров узлов фермы при ее треугольной и полигональной схемах расчетами на основе метода предельных состояний; 2) конструирование фермы при рассматриваемых геометрических схемах; 3) поэлементная сравнительная оценка расхода древесины и стали для двух вариантов фермы, выявление на ее основе оптимальной геометрической схемы и расчетных факторов, влияющих на расход материалов.

Усилия в стержнях на рис. 1 получены комбинированием загрузений от веса фермы, покрытия и снега (нагружен весь пролет, либо половина). «Встречные» сжатые раскосы Р4' в «Ф2» заменяют «основные» Р4 при загрузениях, предполагающих растяжение Р4. Нижний пояс (НП) растянут, его сечение постоянно и подбирается по усилию в наиболее загруженной панели с учетом ослаблений врубками в узлах фермы. Ширина сечения НП задает ширину верхнему поясу (ВП) и раскосам. Для НП переход в предельное состояние I группы (ПС1) связан с исчерпанием прочности древесины, поэтому должна выполняться [3] проверка прочности растянутых элементов.

Для НП треугольной «Ф1» подобрано сечение 125×200, запас для панели Н1 составил 2,4%. НП полигональной «Ф2» подобран сечением 100×200, для Н3 запас 10%. Площадь сечения НП для «Ф1» больше, чем для «Ф2» на 25%. Разность площадей сечений НП двух вариантов объясняется превышением усилия в НП «Ф1» на 36%. Сечение центрально-сжатого верхнего пояса (ВП) постоянно и подбирается для наиболее загруженной панели. Для центрально сжатых стержней, помимо потери прочности, возможен переход в ПС1 при потере устойчивости их формы [3], поэтому кроме проверки прочности должна выполняться проверка устойчивости.

Коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  зависит от гибкости стержня  $\lambda = l_0/r \leq \lambda_{пред}$ , то есть от радиусов инерции сечения и условий закрепления, учитываемых расчетной длиной  $l_0 = \mu l$ . Для ВП «Ф1» по прочности подобрано сечение 125×125 для панели В1 с усилием –155,8 кН, для выполнения проверки устойчивости при  $\varphi = 0,81$  оно было увеличено до 125×150. В «Ф2» для панели В4 с усилием –106,6 кН при  $\varphi = 0,78$  подобрано сечение 100×125. Площадь сечения ВП для «Ф1» на 50% больше, чем для «Ф2». Для ВП треугольной «Ф1» по сравнению с «Ф2» характерно превышение расчетного усилия на 46%, увеличение расчетных длин панелей на 42% из-за ее большой конструктивной высоты и меньшего количества узлов на ВП. Сопряжения раскосов с поясами (рис. 2) выполнены на лобовых врубках или на опорных подушках [4, 5]. Лобовые упоры не работают на растяжение, поэтому раскосы рассчитываются на осевое сжатие с учетом индивидуальных усилий, расчетных длин и предельных гибкостей. Для раскосов Р1, Р2 фермы «Ф1» подобраны сечения 125×100. Сечения для «Ф2»: Р1 100×125; Р2, Р3, Р4 и Р4' 100×100. Минимальное сечение 100×100 в «Ф2» имеет сжатая деревянная стойка С1. Остальные стойки обеих ферм растянуты, выполняются из стали и имеют на концах шайбы и гайки. Сечение кругляка (для «Ф1»: С1 и С2 Ø16, С3 Ø22; для «Ф2»: С2 Ø18, С3, С4 и С5 Ø16) подбирается по прочности  $R_y$  стали, а площадь шайб из условия прочности древесины поясов под ними на локальное смятие поперек волокон.

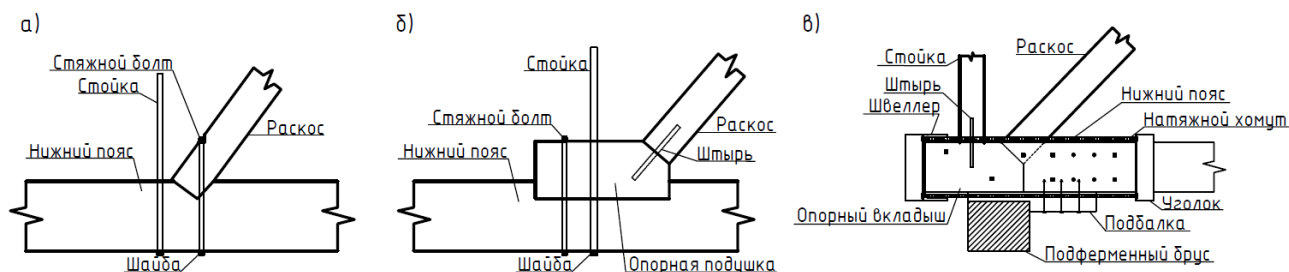


Рис. 2. Конструкции узлов сопряжений в фермах: а – стандартный на лобовой врубке; б – то же, на опорной подушке; в – опорный на натяжных хомутах полигональной

На рис. 3 расход древесины и стали для «Ф1» и «Ф2». Для НП обеих ферм расход древесины близок (0,25 м<sup>3</sup> для «Ф1» и 0,255 м<sup>3</sup> для «Ф2»), это объясняется конструкцией центрального узла НП «Ф1» с расположением стыка раскосов Р2 в месте его разрыва между накладками. ВП фермы «Ф1» из-за большой расчетной и суммарной длины требует на 42 % больше древесины, чем в «Ф2». Расход древесины на 4 раскоса «Ф1» 0,1 м<sup>3</sup>, что на 50 % меньше 0,2 м<sup>3</sup> для 10 раскосов «Ф2», включая «встречные». Для «Ф2» опорные стойки С1 требуют дополнительно 0,025 м<sup>3</sup> древесины. Деревянные накладки (рис.2, в) опорных узлов назначаются расчетом, работают на смятие по торцам и должны вмещать поле нагельного соединения с НП. Для «Ф1» расход на них на 45% превосходит «Ф2» из-за увеличения их сечения (с 75×200 до 100×200 каждая) и длины (с 860 мм до 1180 мм). Длину накладок конструктивно увеличивает малый угол наклона ВП, а большое усилие в панели Н1 приводит к увеличению количества нагелей (10 для узла в «Ф1», 8 для «Ф2»). Центральные узлы НП (поз.5 на рис. 1) в фермах отличаются: в «Ф1» он выполняется с расположением Р2 в разрыве



НП между накладками, а в «Ф2» с устройством между накладками НП опорной подушки «встречных» раскосов. Поэтому расход на накладки (сечение каждой 100×200) НП из-за их увеличенной длины для «Ф1» на 29 % превосходит вариант «Ф2» (2 по 75×200). По результатам расчетов стандартных и особых узлов их принято: на лобовых врубках 2 в «Ф1» и 6 в «Ф2»; на опорных подушках (большой расход древесины) 4 в «Ф1» и 6 в «Ф2». На размеры опорных подушек влияют не только их расчеты на смятие и скалывание, но и конструктивные требования к размещению стяжных болтов и стоек. Расход древесины на опорные подушки для «Ф1» превысил на 31 % «Ф2».

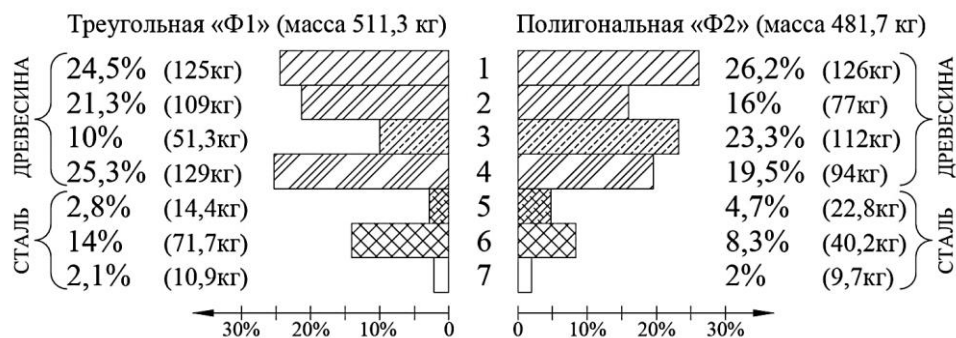


Рис. 3. Суммарные массы деревянных (1 – нижний пояс; 2 – верхний пояс; 3 – раскосы и опорные стойки; 4 – узловы элементы) и стальных (5 – стойки решетки; 6 – элементы опорных узлов; 7 – конструктивно устанавливаемые штыри и стяжные болты) частей ферм

Масса 5 стальных стоек «Ф1» 14,4 кг, что на 59 % меньше массы 7 стоек «Ф2». Расход конструктивно устанавливаемых в узлах стальных элементов (штырей раскосов и стяжных болтов подушек): 10,9 кг для «Ф1» и 9,7 кг для «Ф2», что на 11 % меньше. Увеличенный расход стали рассчитываемых элементов опорных узлов в «Ф1» (71,7 кг против 40,2 кг для «Ф2») связан с загруженностью панели Н1, влекущей увеличение длин (с 880 до 1215 мм) и диаметров натяжных хомутов (с 12 мм до 20 мм), а также увеличение (с 75×75×5 до 100×100×7) сечений вертикальных уголков под гайками этих тяжей.

**Выводы:** 1) В суммарном объеме древесины треугольной фермы (0,83 м<sup>3</sup>): доля поясов 57%, раскосов 12,5% и узловых элементов 30,5%. Для полигональной фермы расход (0,82 м<sup>3</sup>) на 1,2 % меньше, в нем: доля поясов 50%, стоек С1 и раскосов 27%, элементов узлов 23%. Геометрия треугольной фермы определяет на 42% больший объем на верхний пояс, чем для полигональной. 2) Масса стальных элементов треугольной фермы (97 кг, из них 74% на опорные узлы) на 33% выше, чем для полигональной (72,7 кг, из них 55% на опорные узлы). 3) При близких массах ферм (511,3 кг для треугольной и 481,7 кг для полигональной) и расходах древесины повышенная на 33% металлоемкость треугольной «Ф1» (с основной долей расхода стали на ответственные опорные узлы) позволяет считать полигональную геометрическую схему «Ф2» оптимальным вариантом из рассмотренных.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Изд. 4-е/под ред. Г.Г. Карлсена. М.: Стройиздат, 1975. 680 с.
2. Семенов К.В. Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные конструкции: учебное пособие / К.В. Семенов; – 2-е изд., испр. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023.
3. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 с изменениями №2 2019-го года. – М.: Министерство регионального развития России, 2017.
4. Арленинов Д.К. Деревянные конструкции : примеры расчета и конструирования / Д.К. Арленинов, Ю.Н. Буслаев, В.П. Игнатъев. – М.: АСВ, 2006. – 246 с.
5. Конструкции из древесины и пластмасс: учебник / Б.И. Гиясов, В.И. Запруднов, Н.Г. Серёгин, В.В. Стриженко. – М.: АСВ, 2020. – 616 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКОВОДНЫХ ЛЕДОСТОЙКИХ  
СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ В РОССИИ

В последние десятилетия наблюдается заметное увеличение темпов добычи нефти на континентальных шельфах многих стран. Этот тренд объясняется рядом факторов, включающих технологические инновации, развитие геофизических методов исследования, расширение территориальных вод, стремление к повышению уровня энергетической безопасности и пр., которые совместно способствуют более активной и эффективной деятельности на морских шельфах. Российский арктический шельф содержит значительные неиспользованные запасы нефти и газа. Строительство глубоководных платформ могло бы открыть доступ к этим ресурсам, предоставив возможность для экономического развития и производства энергии. Кроме того, арктический регион представляет геополитический интерес из-за его потенциальной роли на будущих торговых маршрутах.

В статье рассмотрены основные возможности использования глубоководных ледостойких стационарных платформ на континентальном шельфе России и перспективы их строительства.

В России классификация глубоководных ледостойких платформ описана в различных нормативных документах и стандартах. Один из основных документов, описывающих требования к ледостойкости платформ, это ГОСТ Р 52960-2008 «Платформы морские. Требования к строительству и безопасной эксплуатации в море» [1]. Согласно ГОСТ, существует классификация платформ по ледостойкости. Данные классы отражают не только требования к устойчивости сооружений к воздействию льда на конструкцию, но и к рассчитанной толщине льда, в котором платформа может безопасно эксплуатироваться. Так класс ЛС-4 имеет наибольшую расчётную толщину льда, равную 1,8 м.

По способу закрепления на точке платформы подразделяются на стационарные и плавучие. В ГОСТ Р 52960-2008 [1] определено, что стационарная платформа – это платформа, которая устанавливается на морском дне и не предназначена для перемещения по месту. Такие платформы по способу обеспечения устойчивости на грунтовом основании при действии горизонтальных нагрузок подразделяются на следующие типы:

- платформы гравитационного типа, устойчивость которых на морском дне обеспечивается за счет собственной массы и массы балласта (могут дополнительно иметь на днище ребристую конструкцию – «юбку», которая при установке платформы на месте эксплуатации внедряется на полную глубину в донный грунт);
- платформы со свайным фундаментом, устойчивость которых на морском дне обеспечивается за счет закрепления на дне моря сваями;
- платформы с фундаментом комбинированного типа.

Гравитационные платформы, обычно изготовленные из железобетона или стали с большой площадью основания и низким центром тяжести, используют свой вес для противостояния нагрузкам, имеют разнообразные формы, зачастую с наклонными бортами или цилиндрическими опорами для снижения воздействия льда, а также проектируются с высокой балластной емкостью, что обеспечивает хорошую устойчивость к движениям, вызванным льдом и волнам. В случае с платформами со свайным фундаментом – устойчивость обеспечивается за счёт свай, а не собственным весом сооружения. Комбинированные платформы используют преимущества двух предыдущих типов, и такая конструкция особенно подходит для районов со значительным давлением льда.

Можно сделать первичный вывод, что для арктического шельфа с большими ледовыми нагрузками, стационарные платформы – это удачное решение, которое обеспечит нормальную работу конструкции. Но остаётся вопрос – подойдёт ли такое решение для глубоких вод?

Согласно данным источника [2, 3], на данный момент в России на шельфе эксплуатируются 11 стационарных платформ (табл. 1).

Таблица 1 – Морские стационарные платформы РФ (2023 г.) [2]

Наименование платформы	Море	Оператор платформы	Месторождение	Глубина моря, м	Год установки
1. Пильтун-Астохская-А	Охотское	Сахалинская энергия (Газпром)	Пильтун-Астохское	30	1999
2. Пильтун-Астохская-Б				32	2008
3. Лунская-А			Лунское	48	2006
4. Орлан			Чайво	15	2004
5. Беркут			Аркутун-Даги	35	2014
6. МЛСП Приразломная	Печерское	Газпром нефть	Приразломное	20	2013
7. Комплекс МЛСП Д-6	Балийское	Лукойл Калининград-морнефть	Кравцовское	25–35	2004
8. Комплекс ЛСП	Каспийское	Лукойл Нижневожжск-нефть	им. Кочагина	11–13	2010
9. Комплекс ЛСП-1			им. Филановского	7–10	2016
10. Комплекс ЛСП-2			им. Грайфера	5–8	2017
11. Комплекс ЛСП					

Примечания:  
1. По ООО «Сахалинская энергия» и ООО «Сахалин-1» в скобках указаны российские акционеры.  
2. Ледостойкие стационарные платформы (ЛСП) ПАО «Лукойл» на Балтике и Каспии, включающие добывающие платформы и платформы жилого модуля (а в ряде случаев и технологические платформы), показаны в таблице одной строкой как единый технологический комплекс морских ЛСП.

По данным приведённой выше таблицы можно сделать вывод, что стационарные платформы в России не используются на глубинах свыше 35 м. Климатические условия российского арктического шельфа крайне суровы. С ростом глубины обеспечение устойчивости стационарной платформы становится крайне непростой, материалоемкой и дорогостоящей задачей.

Итак, в России есть лишь 11 стационарных платформ и все они располагаются на мелководье. Для глубоких вод на российском арктическом шельфе на концептуальном уровне проработан проект освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения. В рамках этого проекта исследованы возможности постановки на глубине более 300 м заякоренных платформ типа TLP, SPAR, а также бурового судна с поворотной турелью [4, 5].

Альтернативной возможностью освоение глубоководных месторождений в арктической зоне является использование подводных технологий, использующих дистанционно управляемые средства добычи и транспортировки углеводородов. Эта технология уже опробована при освоении Киринского газоконденсатного месторождения.

По мере дальнейшего развития технологий повышается осуществимость строительства глубоководных платформ на российском арктическом шельфе. Инновации в морской инженерии, материаловедении и логистических возможностях делают все более возможным изучение и эксплуатацию ресурсов в более глубоких и сложных морских условиях [6].

С учётом сложной геополитической ситуации и повышения внимания со стороны властей к арктическому региону, высока вероятность увеличения инвестиций в разработку шельфа на больших глубинах и, как следствие, возведение платформ российского производства.

Анализируя приведённую в данной статье информацию, можно сделать *вывод*, что конструкции стационарных платформ подходят для мелководной арктической зоны, но на глубоких водах являются нерентабельными. Освоение глубоководных арктических акваторий требует новых инженерных решений для создания заякоренных сооружений способных длительное время работать в арктических условиях. Альтернативный путь обустройства глубоководных месторождений может быть связан с развитием полностью автоматизированных подводных систем добычи углеводородов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 52960-2008. Платформы морские. Требования к строительству и безопасной эксплуатации в море.
2. Журнал «Neftegaz.RU». [Электронный ресурс]: дата обращения 01.03.2024. – режим доступа: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/burenie/792730-plavuchie-burovye-ustanovki-rossiyskikh-kompaniy-operatorov/>.
3. Большев А.С., Шхинек К.Н., Филиповская Т.В. Гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. – Журнал «Гидротехника. XXI век», 2013. № 4. С. 54–62.
4. Шхинек К.Н. и др. Математическое моделирование взаимодействия ровного льда и торосов с заякоренными плавучими сооружениями типа FPU и платформами типа SPAR. – Научно-технический сборник РМРС, вып.32, 2009, с. 93–108.
5. Большев А.С., Фролов С.А. Математическое моделирование поведения морских объектов под действием природных нагрузок в среде программного комплекса «Anchored Structures». – Судостроение, 2021, № 2 (855), с. 35–41.
6. Васильев Ю.С., Большев А.С. Развитие арктической тематики в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. – Журнал Геополитика и безопасность, №2, 2017, с. 28–37.

УДК 626

П.А. Пугаченко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОБОСНОВАНИЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ТРУБ СВАЙНОГО ОСНОВАНИЯ ПЕСКОМ

*Цель работы* – провести исследование нецелесообразности заполнения свай бетоном согласно п. 8.21 СП 24.13330.2021.

Согласно п. 8.21 СП 24.13330.2021 полые сваи и сваи-оболочки, не требующие по расчету бетонного заполнителя, следует заполнять бетоном класса не ниже В7,5 или раствором марки М100, а в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания и выше – бетоном класса не ниже В15 с соблюдением требований по предотвращению образования трещин [1].

Внутреннее пространство полых свай с закрытым нижним концом допускается заполнять сухой цементно-песчаной смесью (ЦПС) на всю длину сваи в случае приварки металлической крышки (оголовка) сверху.

В соответствии с п. 12.1.15 СП 287.1325800.2016 трубы свайного основания заполняются бетоном на необходимую высоту по расчету [2].

Сваи основания рассматриваемого ГТС приняты из труб с открытым концом, работающих на вертикальную нагрузку за счет трения по наружной и внутренней боковой поверхности [3, 4]. Бетонная пробка в нижней части свай не предусматривается.

Конструкция рассматриваемого ГТС представлена в виде высокого свайного ростверка со сваями 1420×20 мм, класс прости стали К50. Ростверк принят толщиной 2,0 м из бетона В35.

Необходимая высота заполнения бетоном в верхней части свай принята в зоне возможного ледообразования – от минус 2,500 м БС до низа ростверка – для свай, усиление которых по условиям прочности не требуется;

Исходя из указанных необходимых высот заполнения бетоном верхней части свай рассмотрено два варианта:

- заполнение внутренней полости трубы песком от естественной поверхности до низа бетонной пробки в верхней части сваи;
- заполнение внутренней полости трубы бетоном от естественной поверхности на всю высоту (до низа ростверка).

Расчетная модель выполнена в программном комплексе «SCAD Office», данный комплекс позволяет выполнить конечно-элементный расчет напряженно-деформированного состояния сооружения. Сваи конструкции задавались стержневыми элементами, а верхнее строение ростверка пластинами [5].

Грунтовые условия моделировались заданием коэффициента упругого основания для стержней.

Расчетное сочетание нагрузок состоит из ледовой нагрузки на сваи, собственного веса сооружения и эксплуатационной нагрузки на верхнее строение.

На рисунках 1–4 приведены результаты поверочного расчета для двух вариантов, выполненные на основе модели швартовно-отбойных палов в программном комплексе «SCAD Office»: максимальные продольные усилия и изгибающие моменты в сваях.

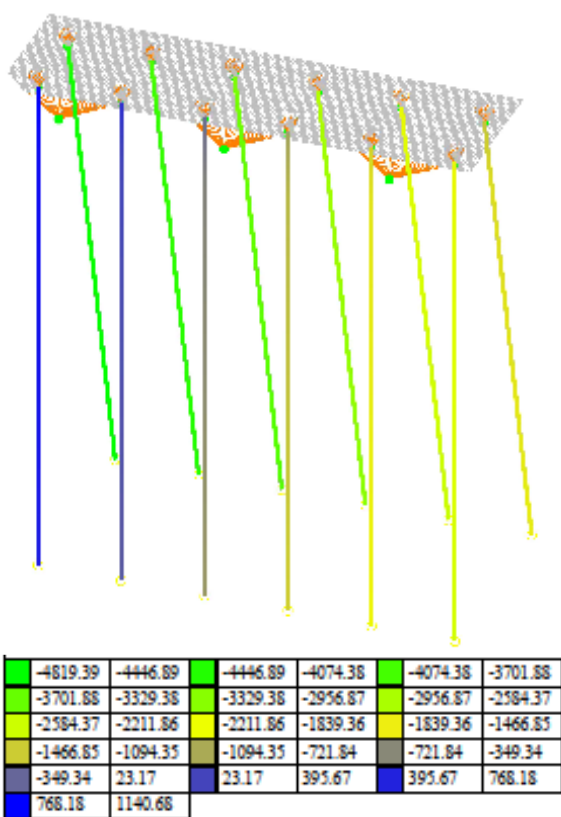


Рис. 1.5 Заполнение труб выше уровня дна песком. Продольные усилия

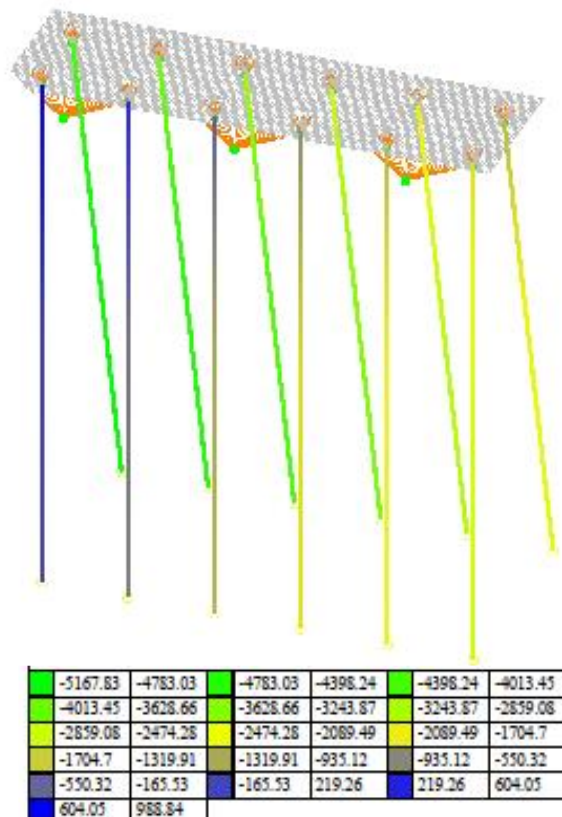


Рис. 2. Заполнение труб выше уровня дна бетоном. Продольные усилия

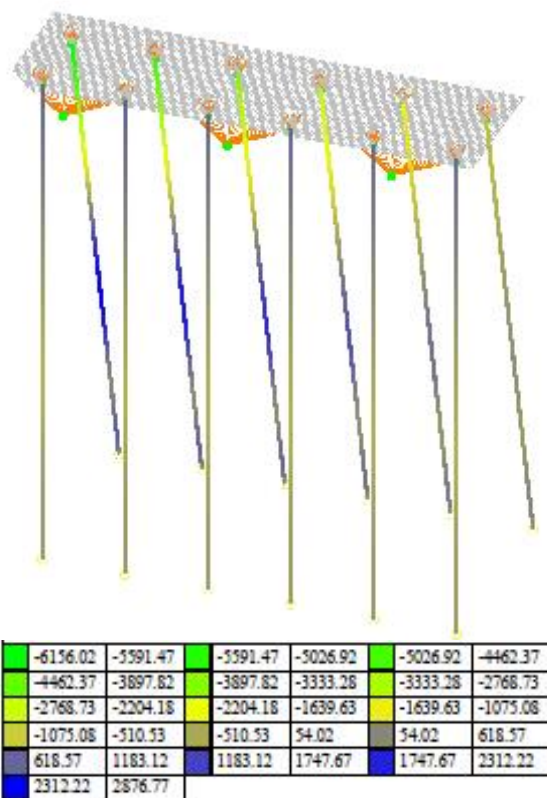


Рис. 3. Заполнение труб выше уровня дна песком. Изгибающие моменты

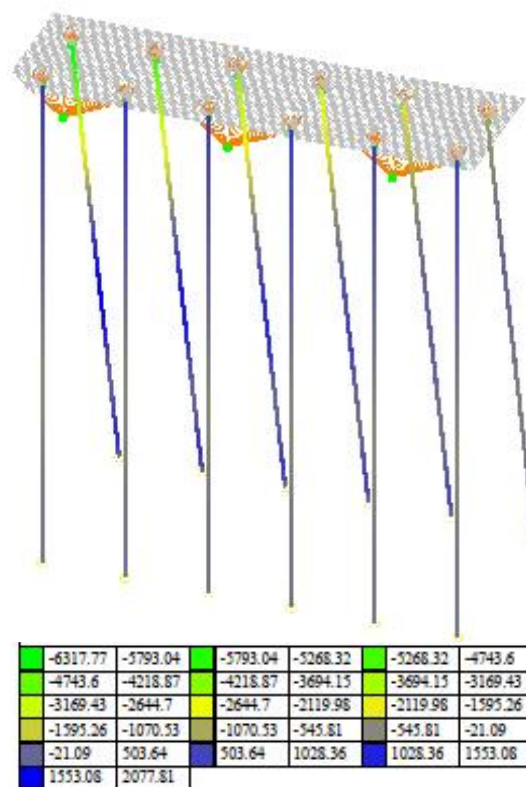


Рис. 4. Заполнение труб выше уровня дна бетоном. Изгибающие моменты

По результатам расчетов видно, что для варианта заполнения бетоном на всю высоту от естественной поверхности максимальные усилия в сваях выше:

- продольное в  $5168/4819 = 1,07$  раз;
- изгибающий момент в  $6318/6156 = 1,03$  раза.

Увеличение нагрузок от заполнения свай бетоном на всю высоту, может привести к необходимости увеличения глубины забивки, увеличения толщины стенки сваи или увеличения расхода арматуры. При этом по расчету усиление свай по условию прочности не требуется.

*Вывод:* в результате проведенной работы, были созданы и проанализированы две конечно-элементные модели. По результатам расчета можно установить, что при заполнении сваи бетоном увеличиваются внутренние усилия в конструкции, что может привести к увеличению конструктивных элементов и удорожанию всего строительства. С учетом вышесказанного, вариант заполнения свай бетоном согласно п. 8.21 СП 24.13330.2021 является нецелесообразным.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 24.13330.2021. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты/
2. СП 287.1325800.2016. Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства. Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 987/пр.
3. Колгушкин А.В., Беляев Н.Д. Инженерные мероприятия по увеличению долговечности сквозных гидротехнических сооружений. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2007. № 1 (49). С. 185–193.
4. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. Издательство СКАД ОФИС Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва 2015 г.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЬДА НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ  
ОСНОВАНИЕ СТВОРНОГО ЗНАКА В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ

*Цель работы* – проведение физического моделирования воздействия дрейфующего ровного льда и определение глобальной ледовой нагрузки на гидротехническое основание створного знака.

*Актуальность работы* заключается в том, что в настоящее время отсутствуют верификационные данные для рассматриваемой расчетной модели. Проведение эксперимента позволит получить эти данные, и, таким образом, внести вклад в развитие расчетных методов. Также, зачастую, в сложных с расчетной точки зрения ситуациях (геометрически сложная форма сооружения, неоднозначность описания расчетной ситуации взаимодействия ледяного образования с сооружением и др.) значения нагрузок необходимо уточнять по результатам модельных испытаний (п. 3.6 [7]).

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы в качестве исходных данных для дальнейшей расчетной оценки ледовой нагрузки при подвижке ледового поля.



Рис. 1. Модель гидротехнического основания створного знака [1]

Для достижения поставленной цели изготовлена модель гидротехнического основания в масштабе 1:23,667 (рис. 1), предназначенная для испытания в ледовом бассейне; выполнено физическое моделирование воздействия льда на модель с целью определения глобальной ледовой нагрузки; проведены измерения физико-механических свойств моделированного льда. Габаритные размеры гидротехнического основания створного знака составляют 13,6×14,2 м в плане. Свайное основание знаков предусмотрено из металлических труб диаметром 1420 мм. Отметка верха ростверка – плюс 5,200 м БС. Для измерения ледовых нагрузок на модель предусмотрена установка шестикомпонентного динамометра.

При моделировании сплошного ровного льда его толщина соответствует натурной в соответствии с принятым масштабом. Максимально близким к требуемой величине обеспечено моделирование предела прочности льда на сжатие. Экспериментальные исследования выполнены для нескольких сценариев: максимальный и минимальный расчетный уровень воды повторяемостью 1 раз в 100 лет [3], который составляет +2,2 м и -1,33 м соответственно.

Модельные исследования выполнялись в режиме обращенного движения – буксировки модели, жестко прикрепленной к буксировочной тележке, в неподвижных ледяных образованиях. При выполнении анализа результатов экспериментов определялось максимальное среднепиковое значение каждой составляющей глобальной ледовой нагрузки.

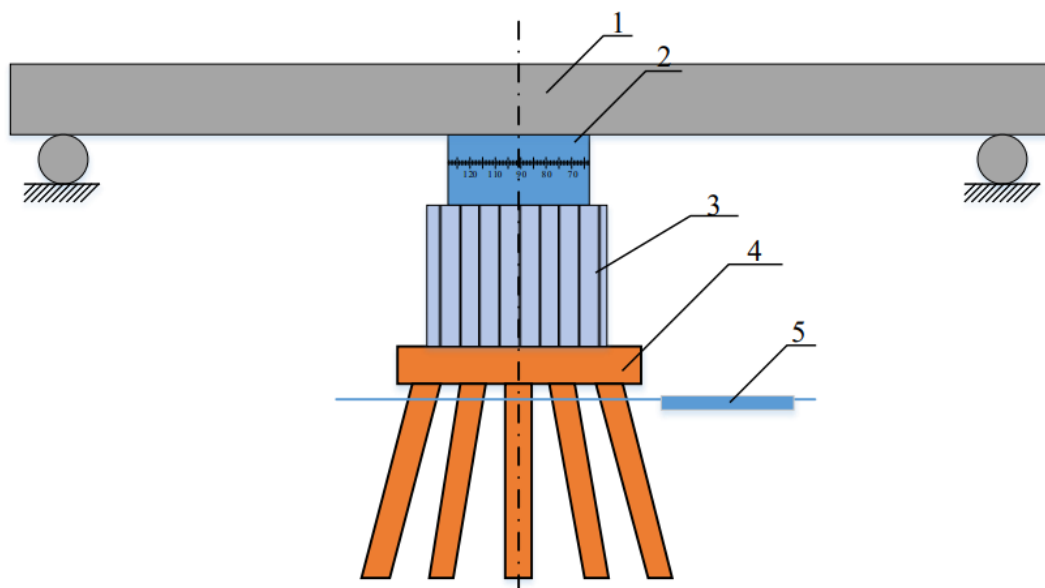


Рис. 2. Схема проведения эксперимента [1]:

1 – буксировочная тележка; 2 – устройство для ориентации модели относительно ледового поля; 3 – динамометр, измеряющий ледовую нагрузку; 4 – модель сооружения; 5 – моделированный лед

При экспериментальных исследованиях требуется соблюдение геометрического (сходство линейных размеров), кинематического (пропорциональность скоростей) и динамического (пропорциональность сил) подобия параметров модельного эксперимента и соответствующих параметров в натуральных условиях. Установление подобия дает возможность пересчитывать результаты испытаний моделей на натурные объекты.

В программу экспериментальных исследований входили следующие сценарии ледового воздействия: толщина льда 80 см, направление дрейфа  $0^\circ$  и  $15^\circ$ , скорость дрейфа льда 0,24; 0,32; 0,72 м/с, уровни воды -1,33 м и +2,20 м для воздействия льда на модель основания створного знака и толщина льда 80 см, скорость дрейфа 0,05; 0,24; 0,32; 0,40; 0,60; 0,72; 1,00 для воздействия льда на модель изолированной трубы свайного ростверка.

В таблице 1 приведены пересчитанные на натурные условия компоненты глобальной ледовой нагрузки на гидротехническое основание створного знака от ровного ледяного покрова.

Таблица 1 [1]

Номер пробега	Отметка уровня воды, м	Направление дрейфа	Толщина льда, м	Скорость льда, м/с	Компоненты глобальной нагрузки						$P_{\text{сумм}}$ , МН
					$F_x$ , МН	$F_y$ , МН	$F_z$ , МН	$M_x$ , МНм	$M_y$ , МНм	$M_z$ , МНм	
1	2,2	0	0,8	0,72	12,19	0,58	0,88	14,52	114,13	4,83	12,2
2	2,2	0	0,8	0,24	9,94	0,51	0,56	12,9	90,37	3,59	9,95
3	2,2	15	0,8	0,72	14,18	0,8	0,92	65,75	120,02	6,77	14,2
4	2,2	15	0,8	0,24	13,14	0,89	0,92	61,75	111,79	5,62	13,17
7	-1,33	0	0,8	0,72	14,77	0,96	1,87	12,95	133,00	11,73	14,8
8	-1,33	0	0,8	0,24	11,65	0,8	1,32	8,85	99,03	6,1	11,68
9	-1,33	15	0,8	0,72	11,91	0,88	1,41	52,46	90,68	7,84	11,94
10	-1,33	15	0,8	0,24	10,05	0,72	1,11	41,65	75,46	5,27	10,07



В таблице 2 приведены пересчитанные на натурные условия компоненты горизонтальной ледовой нагрузки на изолированную сваю гидротехнического основания створного знака от ровного ледяного покрова для всего диапазона рассмотренных скоростей движения.

Таблица 2 [1]

Номер пробега	Толщина льда $h_f$ , м	Скорость дрейфа льда $V_f$ , м/с	Горизонтальная ледовая
			нагрузка, $F_x$ , МН
13	0,8	0,05	1,23
14	0,8	0,24	1,58
15	0,8	0,32	1,70
16	0,8	0,40	1,85
17	0,8	0,60	2,16
18	0,8	0,72	2,22
19	0,8	1,00	2,33

По результатам экспериментальных исследований воздействия дрейфующего ровного льда толщиной 0,8 м на гидротехническое основание створного знака максимальная горизонтальная ледовая нагрузка получена при отметке уровня воды  $-1,33$  м на скорости дрейфа 0,72 м/с и составляет 14,8 МН [1].

*Выводы:*

1. Получены максимальные значения горизонтальной ледовой нагрузки от воздействия ровного льда толщиной 0,80 м и прочностью на сжатие 2,80 МПа.

2. По результатам экспериментальных исследований воздействия дрейфующего ровного льда толщиной 0,8 м на гидротехническое основание створного знака максимальная горизонтальная ледовая нагрузка получена при отметке уровня воды  $-1,33$  м на скорости дрейфа 0,72 м/с и составляет 14,8 МН.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Проектная документация по газоперерабатывающему комплексу в составе Комплекса переработки этансодержащего газа в районе поселка Усть-Луга. Этапы 5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5. Товарно-сырьевая база, Морской отгрузочный терминал, раздел 4, Конструктивные и объемно-планировочные решения Часть 14, Этап 6.5, Реконструкция линейного навигационного створа «Лужский-Встречный», 210.001-PD-07-KP14, Том 4.14, 2022.
2. Технический Отчет ООО «ГТ Моргео» по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий в рамках проектирования газоперерабатывающего комплекса в составе Комплекса переработки этансодержащего газа в районе поселка Усть-Луга. Этапы 5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5. Товарно-сырьевая база, Морской отгрузочный терминал (акватория), Часть 2. Гидрологические изыскания, Книга 1. Гидрологическая характеристика акватории, 186.001-PD-07-ИГМИ2.1, Том 3.2.1.
3. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
4. Шарапов Д.А. Развитие методов оценки ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения / Д. А. Шарапов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 6(116). – С. 92–97. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-6-92-97.
5. Савельева В.В. Влияние ледовой нагрузки на устойчивость основания ЛСП-1 / В.В. Савельева, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 35–37.
6. Шарапов Д.А. Расчет ледовой нагрузки на вмерзшие откосные гидротехнические сооружения / Д.А. Шарапов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 6(116). – С. 98-104. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-6-98-104.
7. СТО Газпром 2-3.7-29-2005. Методика расчета ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу. Москва, 2005.

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СВАЙНОГО ОСНОВАНИЯ ПРИЧАЛА «ТАМАРИН»

*Цель работы* – определение уровня износа и коррозии металлических конструкций причала «Тамарин» за период с 1989 по 2023 год, выявление основных факторов, влияющих на скорость коррозии.

Причал «Тамарин», предназначенный для выгрузки-погрузки генеральных грузов и посадки-высадки пассажиров построен в 1989 г. [1]. Причал расположен по адресу: Архангельская область, район Соловецкий, о. Соловки. С учетом конструктивного исполнения и назначения, в соответствии с табл. 3 Приложения 2 СНиП 33-10-2003 [2], причал отвечает требованиям, предъявляемым к гидротехническим сооружениям III класса ответственности. Соловецкие острова находятся в наиболее мелководной западной половине Белого моря, при входе в Онежский залив, образую западный (Западная Соловецкая салма) и восточный (Восточная Соловецкая салма) проходы в него. Из источника [3]: климат в районе расположения причала имеет черты континентального. С наступлением зимы море, постепенно остывая, отдает тепло суше. Отопляющая роль моря сказывается и в сравнительно высокой ( $-9,4^{\circ}\text{C}$  или  $-9,6^{\circ}\text{C}$ ) средней температуре января на Соловках. Средняя температура летних месяцев: в июне  $+7,7^{\circ}\text{C}$ , в июле  $+12,2^{\circ}\text{C}$ , в августе  $+11,2^{\circ}\text{C}$ .

Грузовой причал «Тамарин» представляет собой пирс сквозной конструкции, в состав которого входят свайное поле из свай-коробов из шпунта Ларсен V, погруженных в грунт основания (рис. 1). Верхнее строение представляет собой балочно-ригельную конструкцию из свай-коробов из шпунта Ларсен V. В качестве покрытия причала применены железобетонные плиты ПП2, с укрепленным на них вдоль линии кордона деревянным колесоотбойным брусом. В конструкцию причала встроены горизонтально установленные резиновые амортизаторы, установленные в специальные металлические ниши цилиндрической формы. Общее количество сохранившихся амортизаторов на момент обследования – 33.



Рис. 1. Общий вид на причал «Тамарин»

Обследование технического состояния причала выполнено с использованием методик, регламентированных действующими нормативными и руководящими документами: ГОСТ Р54523-2011 [4], РД 31.3.3-97 [5].

В ходе очередного инженерно-технического обследования причала «Тамарин» выполненного ООО «ИК Акведук» в 2023 г. был применен физический метод контроля толщины стальных конструкций – ультразвуковой, при помощи ультразвукового толщиномера А1208. Данный метод основан на способности ультразвуковых волн отражаться на границе раздела сред. Необходимо отметить, что для целей, описываемых в настоящей работе, ультразвуковой эхометод является единственно применимым среди физических методов. Потому что он имеет такое преимущество как возможность контроля при одностороннем доступе и работе на участках, удаленных от края конструкции. При этом он обеспечивает высокую производительность и достаточную точность измерений, а также относительно простые требования по предварительной подготовке участка измерения.



Рис. 2. Подготовка поверхности

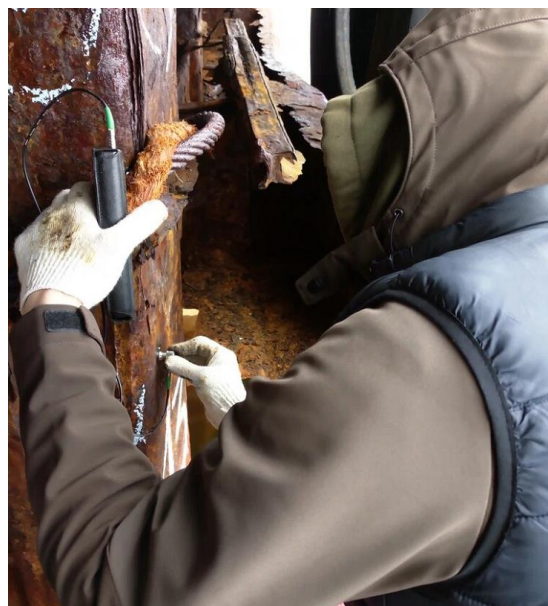


Рис. 3. Проведение измерений

Для использования ультразвукового толщиномера выполнена подготовка поверхности стали путем зачистки (шлифовки) участка измерения для обеспечения нормальной точности контроля (рис. 2). Зачистка производилась аккумуляторным инструментом для механической обработки поверхности металла. С помощью болгарки был снят коррозионный слой. Далее, с помощью ультразвукового толщиномера А1208 был произведен замер остаточной толщины металлической конструкции (рис. 3).

Проведен анализ изменения толщин стенок и полок свай-коробов, выполненных из шпунта Ларсен V. Проектные геометрические характеристики шпунта даны в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические характеристики шпунта Ларсен V

Наименование профиля	Размеры профиля, мм					Масса 1 п.м., кг
	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>H</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	
Ларсен V	534	319	240	21	11	104,6

Изучены результаты измерений двух независимых организаций в разные года: ООО «Гидрострой» в 2016 г., ООО «ИК Акведук» в 2023 г. В таблице 2 приведены примеры измерений толщин металла четырех свай-коробов в различных местах причала.

Таблица 2 – Результаты измерений

№	Свая		Толщина металла, мм			
			ООО «Гидрострой» 2016 г.		ООО «ИК Акведук» 2023 г.	
			Полка	Стенка	Полка	Стенка
1	16	Б	18,56	13,53	14,3	5,9
2	21	Г	19,83	12,78	16,4	9,5
3	26	Е	19,4	12,4	14,3	8,2
4	32	Б	19,25	12	15,6	4,8

На основе полевых данных нужно провести анализ изменения остаточной толщины металла и оценить скорость коррозии (табл. 3).

Таблица 3 – Значения остаточной толщины металла, разрушения металла и скорости коррозии

№	Свая		Остаточная толщина металла с 1989 г. к 2023 г., %		Разрушение металла с 2016 по 2023 г., %		Скорость коррозии	
			Полка	Стенка	Полка	Стенка	Полка	Стенка
1	16	Б	68,10	42,10	22,90	56,40	0,40	0,66
2	21	Г	78,10	49,30	17,30	25,70	0,40	0,66
3	26	Е	68,10	58,60	26,30	33,90	0,46	0,39
4	32	Б	74,29	34,30	18,90	60,00	0,34	0,65
Среднее значение			72,15	46,08	21,35	44,00	0,40	0,59

По результатам анализа можно сделать вывод, что с момента постройки причала «Тамарин» (1989 г.) по 2023 г. остаточная толщина полок и стенок свай-коробов в среднем составляет 72,14 % и 46,07 % соответственно от нормативных величин. Разрушение металла, произошедшее в период с 2016 по 2023 года, в среднем составляет для полок – 21,37 %, для стенок – 43,98 %. В таблице 3 приведены фактические значения скорости коррозии, подсчитанные как средние между скоростью с 1989 г. по 2023 г. и с 2016 г. по 2023 г. В среднем скорость коррозии составляет 0,5 мм/год.

Такие значения потери сечения и скорости коррозии объясняются сложными условиями работы конструкций, агрессивностью среды по отношению к металлическим элементам сооружения, отсутствием защитных покрытий металлоконструкций и протекторов, а также своевременных ремонтов и должного обслуживания.

По результатам очередного инженерно-технического обследования свайного основания причала «Тамарин» было сделано заключение о его ограниченно-работоспособном техническом состоянии – требуется капитальный ремонт или реконструкция. Физические износ свайного основания, как элемента конструкции оценивается в 47%.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Tmatic.travel [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: [https://tmatic.travel/ru/view/story/tamarin-prical\\_py18d36/ru?center=35.690080,65.030380,16.00](https://tmatic.travel/ru/view/story/tamarin-prical_py18d36/ru?center=35.690080,65.030380,16.00).
2. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
3. 365 по Цельсию [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: [https://pogoda.365c.ru/russia/soloveckie-ostrova/po\\_mesyacam](https://pogoda.365c.ru/russia/soloveckie-ostrova/po_mesyacam).
4. ГОСТ Р54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
5. РД 31.3.3-97. Руководство по техническому контролю гидротехнических сооружений морского транспорта.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

*Цель работы* – комплексная оценка природных и техногенных условий территории строительства для разработки решений по инженерной защите территории, попадающей в зону затопления.

Место нахождения проектируемого объекта: Ленинградская область (ЛО), Тосненский район, массив Ушаки, уч. «Тосно-Пригородный», № 173/1. Участок, предназначенный для размещения жилого массива, расположен в границах населенного пункта г. Тосно и полностью свободен от застройки.

Город Тосно относится к населенным пунктам ЛО, попадающим в зону затопления, вызванного различными гидрологическими процессами и явлениями, и внесен в каталог населенных пунктов ЛО, подверженных периодическому затоплению (подтоплению) при высоких уровнях воды в реках и каналах [9].

В соответствии с Каталогом населенных пунктов ЛО [9], подверженных периодическому затоплению при высоких уровнях воды в реках и каналах на гидрологическом посту р. Тосна – г. Тосно уровень 560 см (30,29 м Балтийской Системы (БС)) принят за начало затопления.

Наивысший уровень воды в реке наблюдался 3 мая 1966 г. и составил 668 см (31,37 м БС). При данном уровне воды затоплению подвержено порядка 75% города Тосно.

В г. Тосно с 1994 г. по настоящее время действует гидрологический пост государственной наблюдательной сети. Отметка нуля поста 24,69 м БС, площадь водосбора 1300 км<sup>2</sup>.

По данным 2001 г.:

Уровень 560 см (30,29 м БС) – принят за начало подтопления. При этом уровне затапливаются 3 улицы в восточной части города, 2 из них Красноармейские и 1 Красных Командиров – порядка 30–40 домов. Данный уровень наблюдается 1 раз в три года.

Уровень 610 см (30,79 м БС) – затапливается восточная часть города в районе Мебельного комбината, примерно 30% территории. Данный уровень наблюдается 1 раз в 6 лет.

Уровень 640 см (31,09 м БС) – непосредственно от р. Тосна затапливаются юго-восточная, северная, северо-восточная части города, через ручей Смоляной затапливаются южная и юго-западные части города. Практически полностью затапливается поселок Тосно-2 (кроме домов вдоль Московского шоссе). Полностью затапливаются 8 улиц, частично - 19. В Тосно-2 улицы Саблинская и Песочная. Такой уровень и выше наблюдается 1 раз в 12–13 лет.

Уровень 668 см (31,37 м БС) – затапливается 75% города: 87 улиц из 115, 2400 домов из 3200 – данные 1966г. (при уровне 645 см подтапливается поселок Саблино). Данный уровень наблюдался в 1966г (1 раз в 50 лет).

Территория проектирования ограничена:

- С севера – границей населенного пункта г. Тосно и землями лесного фонда;
- С юга – полосой отвода железной дороги;
- С востока – границей населенного пункта г. Тосно и землями лесного фонда;
- С запада – существующей индивидуальной жилой застройкой.

Расстояние от границ территории проектирования до: ближайшей ж/д платформы («Тосно») приблизительно 1,6 км; до ближайшей станции метрополитена (станция «Купчино») – 60 км. Территория участка ровная. На участке расположена сеть открытых мелиоративных каналов. Схема участка представлена на рисунке 1.

По результатам ранее выполненных инженерно-гидрометеорологических изысканий рассматриваемая территория в основном ограниченно благоприятна для строительства жилого массива в связи с высоким положением уровня грунтовых вод [8]. Следует особо выделить северо-восточная часть территории, которая является неблагоприятной для строительства, характеризуется наличием торфа мощностью более 2 м, заболочена и находится в зоне затопления в результате распространения подпора подземных вод от реки, и выхода воды р. Тосны на пойму вследствие сезонных гидрологических явлений (таяние снегов, ливневые осадки).

Обследование территории выполнено в зимнее время. Атмосферный фронт сформировал положительную аномалию температуры воздуха в регионе. Под воздействием оттепели наблюдается уплотнение снежного покрова за счет подтаивания снега с последующим замерзанием в слабо морозное время суток.

Также, в работе проведено исследование влияния находящихся на участке проектирования, ручьёв Горелый и Трофимов. Русло ручья Трофимов под воздействием ветрового переноса заполнено снегом, ниже устья ручья Горелого русло свободно от снега, наблюдается ледостав с полыньями, на отдельных участках вода течет поверх льда. Долина ручья Горелого преимущественно покрыта снегом, насыщенным водой, и ледяной коркой, и представляет собой монолитное снего-ледяное поле. На небольшом участке выше устья ручья Горелого русло свободно от снега. На этом участке русла наблюдается ледостав с полыньями, на отдельных участках вода течет поверх льда.

Территория в районе ручьёв заболочена, под толщей снежного покрова почво-грунты находятся в незамерзшем и обводненном состоянии, поэтому подход к водотокам для выполнения гидрометрических работ преимущественно затруднен и опасен.

В период проведения исследований были выполнены промеры глубин на ручье Трофимов – устье ручья Горелого (створ № 2). Схема расположения расчетных створов и выделенных водосборных площадей в расчетных створах представлены на рисунке 2.



Рис. 1

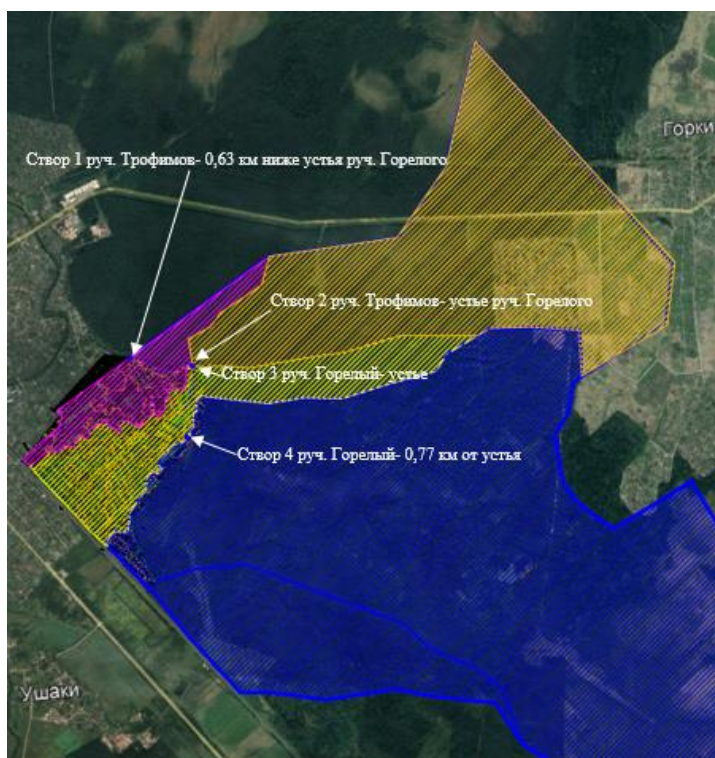


Рис. 2

Таблица 1 – Морфометрические характеристики в расчетных створах

Ручей	Створ	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Длина русла, км	Средний уклон русла, ‰	Средн. взв. уклон русла, ‰	Залесенность, %	Заболоченность, %	Озерность, %
Трофимов – 0,63 км ниже устья ручья Горелого	1	29,1	5,5	3,84	0,87	83,2	14,7	–
Трофимов – устье ручья Горелого	2	28,2	4,8	4,41	1,44	83,2	14,7	–
Горелый – устье	3	21,7	5,0	4,19	3,05	83,2	14,7	–
Горелый – 0,77 км от устья	4	19,6	4,2	4,88	3,43	83,2	14,7	–

### *Выводы*

В ходе работы были проанализированы гидрометеорологические явления и процессы, происходящие территории строительства. По результатам рекогносцировочного обследования и топографической карте для оценки формирования стока были выделены расчетные створы на водотоках Горелый и Трофимов, определены стокоформирующие площади.

Принято решение, что при защите территории проектирования от затопления должны учитываться расчетные значения поверхностного стока непосредственно с территории объекта и на ее водотоках в наиболее неблагоприятный период высокой водности – в период весеннего половодья.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения.
2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
3. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства.
4. СП 493.1325800.2020. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Общие требования.
5. СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология.
6. СП 104.13330.2016. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.
7. РСН 76-90. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству гидрометеорологических работ.
8. Технический отчет по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий, 1-ТОС-ППТ/21-ИГМИ. ООО «Академический центр маркетинговых исследований «Регион-инвест», Санкт-Петербург, 2021.
9. Каталог населенных пунктов Ленинградской области, подверженных периодическому затоплению (подтоплению) при высоких уровнях воды в реках и каналах. СПб, 2001, – 30 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАССИВОВ-ГИГАНТОВ

В результате реализации мероприятий федерального проекта «Морские порты России» в рамках транспортной части Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г. прирост мощностей российских портов составит 330 млн т [1].

Перечень инвестиционных проектов включает в себя десятки реконструкций существующих портов и возведение объектов нового строительства, предполагающих создание современных, надёжных и экономически эффективных гидротехнических сооружений. Одними из таких являются массивы-гиганты – железобетонные конструкции, предназначенные для возведения причальных, оградительных и берегоукрепительных сооружений на различных глубинах. Массивы-гиганты (МГ) представляют собой железобетонные ящики (называемые понтонами, оболочками) больших размеров с внутренними перегородками, которые заполняются бетоном, песком, щебнем. МГ изготавливаются в береговых условиях, а затем транспортируются на плавучий док и устанавливаются на постель в сооружении. Вес МГ измеряется тысячами тонн [2].

Ввиду актуальности использования рассматриваемых конструкций, а также больших затрат на их возведение, целесообразно рассмотреть существующие способы изготовления МГ, а также перспективные варианты развития технологий в данном направлении.

Выбор типа и конструкции оградительного сооружения производится в зависимости от заданных условий на основании требований нормативных документов, рекомендаций, руководств по проектированию и другой технической литературы по гидротехническому строительству. При обосновании реализации подобных проектов учитываются климатические условия, особенности акватории, геологическое строение дна; наличие производственной базы и местных строительных материалов, а также метод производства работ [3, 4]. Этот факт позволяет применить широкую вариативность в разработке технических решений в области изготовления и монтажа МГ.

Действующие строительные нормы и правила, такие как СНиП 3.07.02-87 «Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения» и ГЭСН 81-02-37-2020 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений», предполагают возведение массивов-гигантов в сухом стационарном доке, с последующей транспортировкой до места монтажа. Один из способов транспортировки МГ представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Транспортировка массива-гиганта с применением воздушных подушек

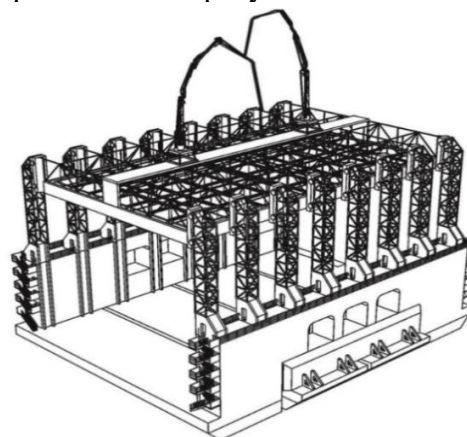


Рис. 2. Общий вид плавучего дока-завода



Оптимальным решением для строительства крупной партии массивов является применение плавучего дока по производству массивов-гигантов (дока-завода) – мобильной производственной площадки, на которой происходит быстрое формирование тела массива-гиганта (рис. 2). Основным технологическим преимуществом является применение при строительстве «скользящей опалубки» – передового производственного комплекса, осуществляющего формирование вертикальных железобетонных конструкций в непрерывном режиме, представляющий собой опалубочный комплекс, портал, по которому он перемещается, и механизмы перемещения.

Таким образом, док-завод обеспечивает быстрое серийное производство и спуск на воду массивов. Такие доки построены и работают во многих странах, их собственниками являются европейские и азиатские компании (в качестве примера можно привести испанскую корпорацию «Ассiona», греческую «Актор» и другие. С применением таких доков построены обширные гидротехнические сооружения бразильского порта Аку, итальянского порта Чивитавекья, их использовали при увеличении городской территории Монако. Эффективность работы док-заводов подтверждается их коммерческой востребованностью и низкой удельной стоимостью производства на них железобетонных конструкций [5].

В отечественной практике гидротехнического строительства опыт использования массивов-гигантов имеет ЦКБ «Монолит», которое построило массивы-гиганты для своей стапель-площадки в г. Городце. А первые в современной России сооружения из массивов-гигантов – подходная дамба, причал и мол Комплекса по производству, хранению и отгрузке сжиженного природного газа «Портовая», предназначенные для приема сырьевого газа, подготовки газа к сжижению, сжижения, хранения и отгрузки СПГ на суда-газовозы с дальнейшей транспортировкой на приемный терминал СПГ, расположенный на побережье Балтийского моря в районе г. Калининграда. Морской отгрузочный терминал сжиженного природного газа КСПГ «Портовая» был запроектирован специалистами АО «ГТ Морстрой» по заказу ПАО «Газпром». Терминал расположен в бухте Дальняя, Финский залив (рис. 3).

Массивы-гиганты изготавливались в Испании компанией FCC и доставлялись к месту строительства полупогружными транспортными судами. Строительство постели и монтаж массивов-гигантов выполняла компания АО «МРТС» [6].

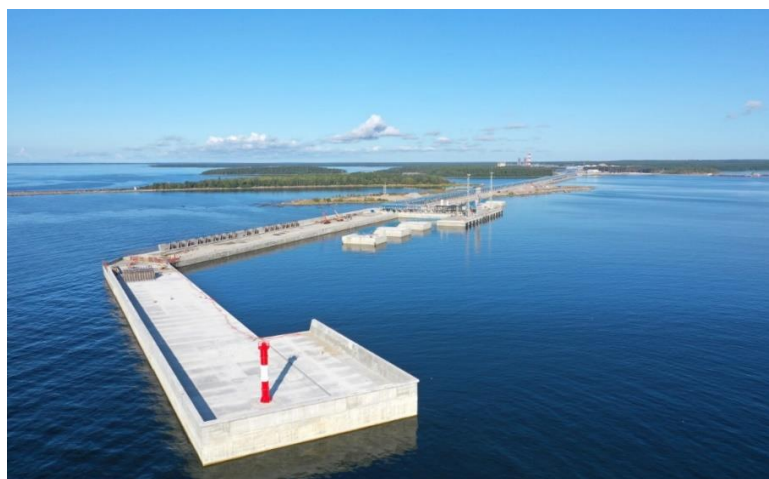


Рис. 3. Построенное сооружение на территории КСПГ «Портовая»

Одним из направлений совершенствования конструкций массивов-гигантов является создание понтонов с камерами гашения и перфорированными стенками для снижения волновых нагрузок. На рис. 4 представлен пример такого решения.



Рис. 4. Головная часть мола из перфорированных массивов-гигантов

Основным конструктивным элементом указанного сооружения является стенка столбовой кладки из пустотелых перфорированных бетонных массивов. Такое решение, по мнению проектировщиков, позволяет обеспечить соответствующий волновой режим на акватории порта и использовать в относительно спокойную погоду мористую (внешнюю) сторону пирса-мола в качестве причала [7].

На основании проведенного анализа перспектив использования массивов-гигантов в гидротехническом строительстве России можно сформулировать следующие выводы:

- Необходимо развитие отечественных производственных площадей, позволяющих изготавливать массивы-гиганты в Российской Федерации.
- Необходимо создание специального флота, предназначенного для транспортировки таких объектов, как массивы-гиганты.
- Необходимо совершенствование отечественной нормативной базы с учетом зарубежного опыта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Министерство транспорта РФ, Федеральное агентство морского и речного транспорта (Росморречфлот): официальный сайт. – Москва. – URL: <https://morflot.gov.ru/> (дата обращения: 22.01.2024).
2. Мудрик И.В. Производственный кластер по изготовлению железобетонных основания гравитационного типа в рамках развития инфраструктуры Арктики и Северного морского пути. – Журнал «Гидротехника» – URL: <https://hydroteh.ru/> (дата обращения: 22.01.2024).
3. Belyaev N.D. Review of protection methods against propeller erosion. Proceedings of IV international seminar on renovation and improvements to existing quay structures. 1997. Pp. 5–12.
4. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
5. Козаченко Д.А., Беляев Н.Д. Использование плавучих доков-заводов для строительства массивов-гигантов. Неделя науки СПбПУ : сборник материалов Всероссийской конференции, В 3 ч. Ч. 1. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 101–103 с.
6. Иванов П.А., Страшный А.П. Уникальные конструктивные решения морских ГТС в современной России – проектные решения АО «ГТ Морстрой». – Журнал «Гидротехника» – URL: <https://hydroteh.ru/> (дата обращения: 03.03.2024).
7. Колесников Ю.М. Об эксплуатационном состоянии волногасящей конструкции пирса-мола из пустотелых бетонных массивов. – Интернет-журнал «Транспортные сооружения»//Russian journal of transport engineering – URL: <https://t-s.today/PDF/16SATS419.pdf> (дата обращения: 09.03.2024).

## ПРОБЛЕМЫ МОРСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ

*Цель работы* – определить основные проблемы, препятствующие строительству морских сооружений в условиях северных широт.

*Актуальность.* Одним из основных факторов решения стратегических задач государства в Арктике и комплексного социально-экономического развития региона является формирование единой Арктической транспортной системы, которая включает в себя Северный морской путь, комплекс транспортных средств морского и речного флота, авиации, трубопроводного, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также береговой инфраструктуры (порты, средства навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения, связи, терминальные сооружения, буровые сооружения). Модернизация и развитие инфраструктуры Арктической транспортной системы определены как стратегические приоритеты государственной политики Российской Федерации в Арктике [1].

Одной из проблем является проектирование морских сооружений в северных широтах. Для постоянной работы в замерзающих морях подходят только морские стационарные платформы, обладающие прочным ледовым поясом, способным воспринимать как продолжительную нагрузку от напоязания ледяного покрова, так и локальные пиковые нагрузки от столкновения с ледяными образованиями. В настоящий момент в районах акватории арктического шельфа РФ круглогодичная добыча углеводородов ведется только на Приразломном месторождении с использованием морской ледостойкой платформы (МЛСП) «Приразломная» [2] (рис. 1). Сравнительно небольшой срок эксплуатации единственного подобного объекта в регионе значительно усложняет анализ его эксплуатационных особенностей, учет которых необходим в перспективном проектировании будущих МЛСП [3].

Важнейшее условие при проектировании морских сооружений для северных/арктических регионов – воздействие многолетнего льда. Поскольку внешние нагрузки на сооружение велики и неоднородны, к основаниям конструкций предъявляются повышенные требования. В техническом задании на проектирование должны учитываться общее понимание характеристик льдов и множество непостоянных изменений при непредвиденных обстоятельствах.

Одним из существенных факторов является наличие вечной мерзлоты. Первое, с чем сталкиваются компании в ходе строительства объектов в арктических условиях – создаваемая нагрузка на сооружения в результате воздействия ледовой массы. Массивные ледяные структуры, образованные движением масс льда и намораживанием их друг на друга, такие как: торосы и навалы льда (до 2 м), могут образовать двухлетний, и даже многолетний лёд (толщиной более 20 м), пережив период летнего таяния.

Одним из самых известных решений является основание кессонного типа (рис. 2). Сущность изобретения [4]: кессон включает образованную неподвижными вертикальными передней, боковыми и задней стенками конструкцию с бассейном внутри нее. Кессон выполнен с палубами, верхняя из которых расположена выше уровня воды в погруженном положении кессона и с наклонным участком на наружной поверхности конструкции, размещенным в погруженном положении кессона выше и ниже уровня воды для направления вверх движущегося на кессон льда. В задней стенке кессона выполнен вырез, при этом высота кессона превышает глубину океана в месте его установки.

Кессон снабжен основанием в виде размещенной по периметру кессона под его стенками окружной опорой и днища, выполненного из сплошного армированного строительного материала. Наружная поверхность кессона армирована для противостояния усилиям плавающего в океане льда. Стенки кессона выполнены с высотой, достаточной для отражения максимальной расчетной волны при погруженном положении кессона. В основании кессона и между внутренними и наружными стенками выполнены балластные отсеки, большая часть каждого из которых расположена ниже уровня воды в погруженном положении кессона [4].

Примером удачного ответа на вызовы сурового Охотского моря является погружная платформа «Беркут» (проект «Сахалин-1»), строительство которой было завершено в июне 2014 г. Платформа состоит из железобетонного основания гравитационного типа (ОГТ) и стального верхнего строения с буровым, технологическим и жилым модулями.

Железобетонное основание гравитационного типа платформы «Беркут» является сооружением, возведенным наплавным способом. ОГТ представляет собой монолитную преднапряженную железобетонную конструкцию в виде кессона и колонн с натяжением пучков тросов «на бетон». Четыре колонны ОГТ подразделены на буровую, райзеров, хранения и вспомогательную. Колонны цилиндрические. Для обеспечения промежутков между колоннами, требуемых для прохода баржи, колонны в определенных зонах имеют овальное очертание. Колонны вертикальные с постоянной толщиной по высоте. Общий вес основания платформы «Беркут» составляет 156 730 т, в том числе: вес железобетонных конструкций – 150 528 т [5].

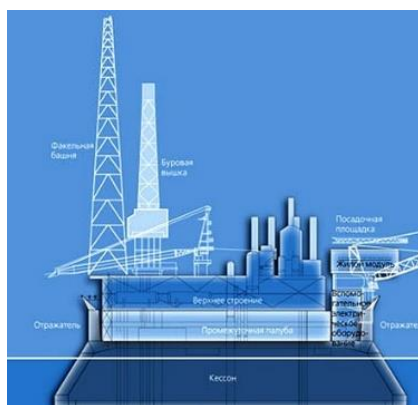


Рис. 1. МЛСП «Приразломная»

Рис. 2. Основание кессонного типа

Рис. 3. Транспортировка

Транспортировка конструкций (рис. 3) со стройплощадки, находящейся в удалении в тысячи километров от Севера, непосредственно в Арктику осложняется размерами сооружений и суровыми климатическими условиями. Транспортировка и монтаж конструкций дорогостоящие операции, требующие предельного внимания к управлению рисками, связанными с работами в открытом океане. Так перемещение сооружений и конструкций, и все строительно-монтажные работы на месте реализации проекта нужно выполнить до наступления ледового сезона.

Буксировка – наиболее распространенный вид транспортировки крупнотоннажных объектов и один из самых сложных видов работ в море. При ее организации в арктических морях необходимо учесть следующие особенности: короткий навигационный период; экстремальные климатические условия; необходимость специальных технических средств оснащения; необходимость сопровождения ледоколами при буксировке в битом льду; сложности проводки в узкостях, и смещение походного ордера от оси движения при буксировке на открытых морских акваториях.

Безопасность проведения буксировки определяется главным образом следующими факторами: качественной подготовкой к выполнению задачи; точным выбором календарного времени (с благоприятными метеорологическими условиями); точным взаимодействием

буксировщика и объекта буксировки; согласованными действиями руководителей работ и экипажа буксировщика [6].

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующее:

1. Строительство морских сооружений в северных широтах осложнено суровостью климатических условий.
2. Сфера северного морского строительства имеет небольшую историю, наша страна имеет крайне мало стационарных объектов на северной части шельфа. Отсутствие опыта в проектировании таких сооружений усложняет создание морских сооружений, увеличивает затраты на дополнительные исследования и проектирование, требует применения самых современных методов цифрового проектирования [8, 9].
3. Решение для основных проблем есть и оно основано на применении цифровых подходов к проработке конструктивных вариантов сооружений, численном моделировании этапов транспортировки, установки и эксплуатации сооружений в сочетании с экспериментальной проверкой принятых инженерных решений [10].

*Выводы.* В заключении, хочется подчеркнуть, что проблемы морского строительства в северных широтах являются актуальными и требуют особого внимания. Решение этих проблем возможно путем увеличения объемов строительства, что позволит накопить необходимый опыт и разработать новые технологии для строительства стационарных объектов на морском шельфе в сложных климатических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблемы и перспективы развития Северного морского пути как элемента единой Арктической транспортной системы [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: <http://council.gov.ru/media/files/18PmiCzTPmAb9gyKK892HCME8nuZ2Aqz.pdf>.
2. Шхинек К.Н., Большев А.С., Филиповская Т.В. Гидротехнические сооружения на континентальном шельфе России. Журнал «Гидротехника. XXI век» №4 (16) 2013 г., с.48–56.
3. Проблемы проектирования и эксплуатации морских нефтегазовых платформ [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: <https://morvesti.ru/themes/1698/69373/>.
4. Погружной передвижной кессон [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2064553C1/ru..>
5. Анатомия «Беркута» [Электронный ресурс]: дата обращения 11.03.2024. – режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2064553C1/ru>.
6. Погружной передвижной кессон [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: <https://www.rogtecmagazine.com>.
7. Особенности транспортировки морских объектов [Электронный ресурс]: дата обращения 10.03.2024. – режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-transportirovki-morskih-obektov>.
8. Васильев Ю.С., Большев А.С. Развитие арктической тематики в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого Журнал Геополитика и безопасность, №2, 2017, с.28–33.
9. Большев А.С., Фролов С.А. Перспективы применения российского программного комплекса Anchored Structures для моделирования морских операций с арктическими сооружениями. Деловой журнал Neftegaz.RU №11[131] 2022, с. 38–46.
10. Благовидова И.Л., Большев А.С., Фролов С.А. Математическое моделирование и программное исследование работы системы «Морской отгрузочный причал – Танкер – Буксир». Сборник трудов конференции «Освоение арктического шельфа России», 2007, №175.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕРМОРЕГУЛИРУЕМОЙ СВАИ В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНИХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

*Цель работы* – создание модели участка причальной стенки в многолетнемерзлых грунтах. Выполнение неустановившегося теплотехнического расчета в программе «PLAXIS 2D» [1] и оценка влияния охлаждающих трубок в теле стальной сваи на положение зоны промерзания грунта.

В России многолетнемерзлые породы занимают около 2/3 территории, в том числе 95% площади Сибири. Несмотря на низкую населенность, эти регионы очень важны для нашей страны, поскольку охватывают более 30% разведанных запасов нефти, примерно 60% запасов природного газа, месторождения каменного угля, цветных металлов, золота, алмазов, большую часть гидроэнергоресурсов, огромные запасы древесины и пресной воды. Таким образом создание и исследование моделей морских сооружений для поддержки ресурсодобычи является актуальной задачей [4].

Для быстрого восстановления естественного состояния многолетнемерзлых грунтов и поддержания их состояния, в связи с глобальным потеплением климата на этапе строительства предусматривается глубокое погружения сваи, с учетом понижения несущей способности в результате последующего оттаивания основания. Другим вариантов повышения несущей способности при оттаивании грунтов является установка замораживающего оборудования [2].

Технология замораживания с использованием солнечной энергии еще не изучена в полевых условиях, однако имеет перспективы развития, т.к. энергия, затрачиваемая на охлаждение прямо пропорциональна энергии солнечного излучения. Холодильная установка состоит из солнечных панелей, компрессора, конденсатора, дросселя, контролера и трубок с хладогентом. Трубки располагаются в свае по спирали. Схема установки показана на рис. 1.

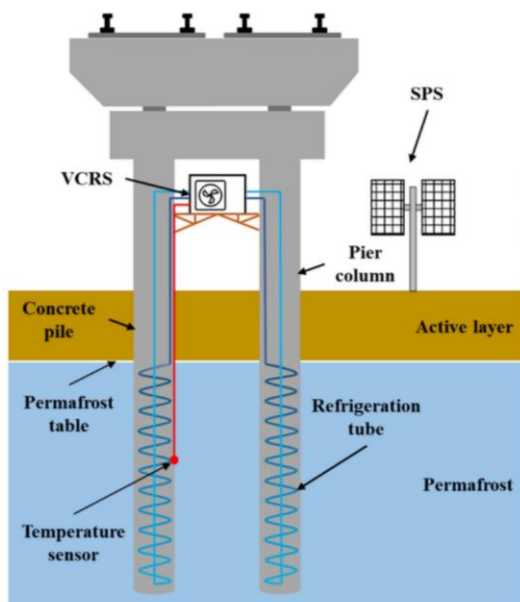


Рис. 1. Принципиальная схема охлаждающей установки [2]

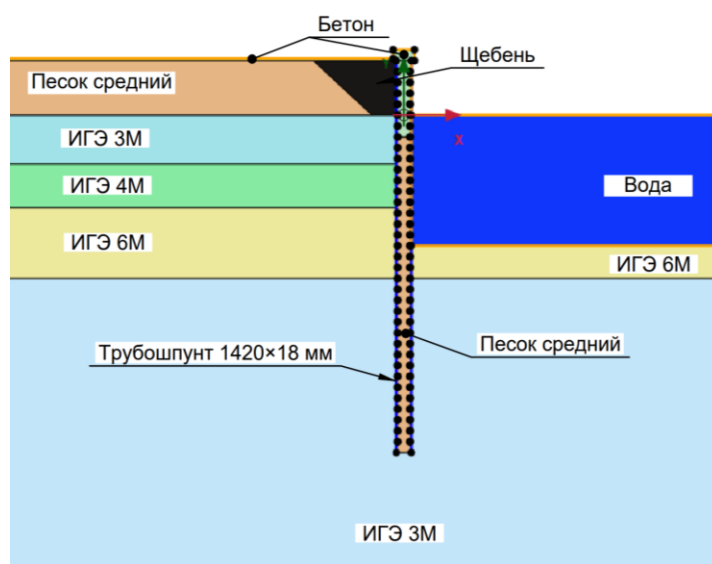


Рис. 2. Общий вид расчетной модели в ПК PLAXIS 2D

Расчетное сечение причала состоит из: трубошпунтовых стальных свай 1420×18 мм, ж/б оголовка, от отметки -2,0 до отметки +5,0 установлен ж/б сердечник, остальное пространство лидерной скважины заполняется средним песком. Территория причала устроена из среднего песка со щебеночной призмой и покрыта ж/б плитами. Теплофизические параметры грунтов и материалов приведены в таблице 1 [3]. По высоте сваи смоделированы охлаждающие трубки с шагом 1 м по высоте. Вода условно показана на схеме, но ее температурное влияние задается с помощью граничных тепловых условий на границах вода–свая и вода–дно, температурные условия, на которых равны температурным колебаниям воды Карского моря в течение года. Тепловые граничные условия закрыты снизу и по бокам модели. Граничные условия на границе воздух–сооружение равны температурным колебаниям воздуха за год. Аналогичная постановка задачи применяется при рассмотрении движения граница вода-лед при замерзании акваторий [7–9]. Общий вид расчетной модели приведен на рис. 2.

Таблица 1 – Теплофизические параметры грунтов и материалов

Грунты/Материал	ИГЭ 3м	ИГЭ 4м	ИГЭ 6м	ИГЭ 7	Сталь	Бетон	Щебень	Вода	Песок средний
Название	Песок мелкий до пылеватого заиленный слабльдистый, сильно-засоленый	Ил супесчаный песчанистый слабльдистый, средне-засоленый	Песок мелкий слабльдистый, сильно-засоленый	Песок мелкий слабльдистый, сильнозасоленый	Сталь С345	Бетон В35	Фр. 30-40	Вода морская	Песок для засыпки свай и обратной засыпки причала
Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , кВт/(м/С°)	0,00253	0,00167	0,00247	0,00210	0,05000	0,00120	0,00018	0,00055	0,00400
Удельная теплоёмкость, С кДж/т/С°	372,8	1012,0	836,0	952,7	461,0	856,0	840,0	4200,0	860,0
Плотность, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	1,90	1,83	1,90	1,9	7,81	2,60	1,30	1,025	1,30

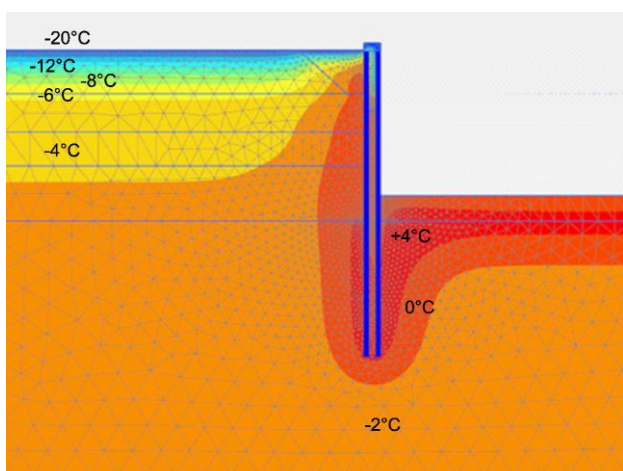


Рис. 3. Распределение температур без замораживающего контура

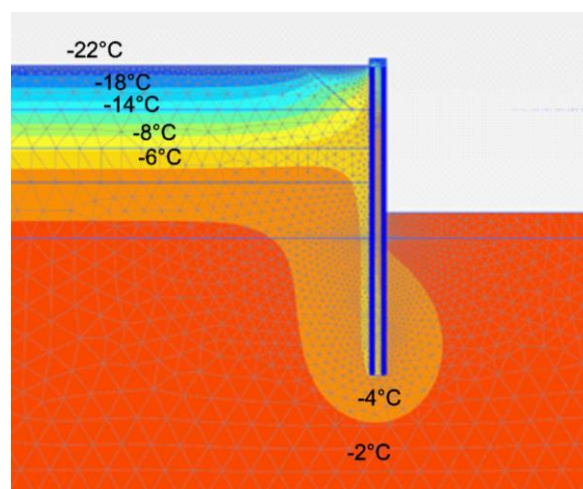


Рис. 4. Распределение температур с учетом замораживающего контура

Температурные перепады воздуха и воды [5–6] заданы по среднемесячным значениям, с помощью температурной зависимости температура-время. Начальные условия модели заданы температурой грунтов в естественном сложении. Далее моделируются температурные колебания воды и воздуха за 3 года, для двух случаев: с учетом заморозки грунта, и без учета заморозки. На рис. 3 показано распределение температур в теле причальной стенки без учета замораживающего контура, а на рис. 4 с учетом замораживающего контура с температурой охлаждения -5 °С, подобранной эмпирическим путем, из условия недостижения температуры оттаивания грунта под пятой сваи.

*Выводы.* Таким образом, был произведен анализ распределения температуры в теле причала с учетом замораживающих трубок и без. Наибольшее влияние на оттаивание грунта под нижним концом сваи оказывают материал сваи – сталь и температура воды акватории. Наличие замораживающего контура работающего на солнечной энергии способно остановить деградацию многолетнемерзлых грунтов в основании сооружения, а также сократить время восстановления мерзлоты после разбуривания лидерных скважин и установки свай. Потребляемая мощность установки прямо пропорциональна вырабатываемой энергии солнечной батареей. Потери энергии на работу установки могут быть оценены как разность между энергией нагрева прямым солнечным светом и энергией забираемой охлаждающей установкой, питающейся от солнечной панели. Величина потерь оценивается в 80–85%, что является хорошим показателем для существующего уровня развития солнечной энергетики [10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. PLAXIS 2D CONNECT Edition V20 – Reference Manual.
2. Zhaohui Sun, Jiankun Liu, Tianfei Hu, Tian You, Jianhong Fang / Design and cooling performance analysis of the temperature-controlled pile (TCP) in permafrost regions. – Cold Regions Science and Technology 205(6):103714.
3. Отчет по лабораторным работам по исследованию свойств и определению характеристик мерзлых грунтов по объекту: «Морской порт в районе п. Саббета. Объекты подготовительного периода». ФГБУН «Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук». – Тюмень, 2012.
4. Глобальные изменения климата. Часть 3. Последствия потепления. Аналитическая служба «ГЕОИНФО». 2019.
5. Моделирование исторических данные о климате и погоде для Сабетта [Электронный ресурс]: meteoblue [https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/climatemodelled/Сабетта\\_Россия\\_1538111](https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/climatemodelled/Сабетта_Россия_1538111) (дата доступа: 01.03.2024).
6. Температура воды в Сабетте в 2023 году [Электронный ресурс]: Погода1 <https://pogoda1.ru/sabetta/temperatura-vody/2023/> (дата доступа: 01.03.2024)
7. Шарапов Д.А. Численная оценка необходимой энергии для предотвращения образования воротников на морских причалах Арктики / Д.А. Шарапов, А.С. Большев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2016. – № 44–45. – С. 20–25.
8. Шарапов Д.А. Термодинамическая модель ледового воротника в гидротехническом строительстве / Д.А. Шарапов, Ю.С. Клочков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 3(113). С. 107–113. DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-3-107-113.
9. Sharapov, D. Numerical calculation of the ice grow and empirical calculation results / D. Sharapov, K. Shkhinek // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 834-836. – P. 1448-1454. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.1448.
10. Menke, S. & Ran, Niva & Bazan, Guillermo & Friend, Richard. (2017). Understanding Energy Loss in Organic Solar Cells: Toward a New Efficiency Regime. Joule. 2. 10.1016/j.joule.2017.09.020.



## ПРИНЦИПЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МАЛОЙ ГЭС НА РЕКЕ ШУ, КАЗАХСТАН

Обеспечение энергетической безопасности является одним из ключевых приоритетов Казахстана. По оценкам, более 66% от общего забора воды в Казахстане используется для сельского хозяйства на орошение и животноводство и только 30 % – на промышленность и энергетику [1].

Гидроэнергетические ресурсы Жамбыльской области Казахстана значительны, но в большинстве не освоены. В то же время в этом районе наблюдается дефицит электроэнергии особенно в зимний период времени.

*Цель работы* – методика расчета гидравлических параметров гидротехнических сооружений на примере проектируемой малой ГЭС Жанажол на р. Шу для обоснования строительных размеров этих сооружений

Для достижения поставленной цели представлены алгоритмы расчета следующих сооружений: водоприемного оголовка с подводящим каналом 2; водослива автоматического действия 7, глубинного холостого водосброса 9; напорного бассейна 8 и турбинных водоводов 13 (рис. 1).

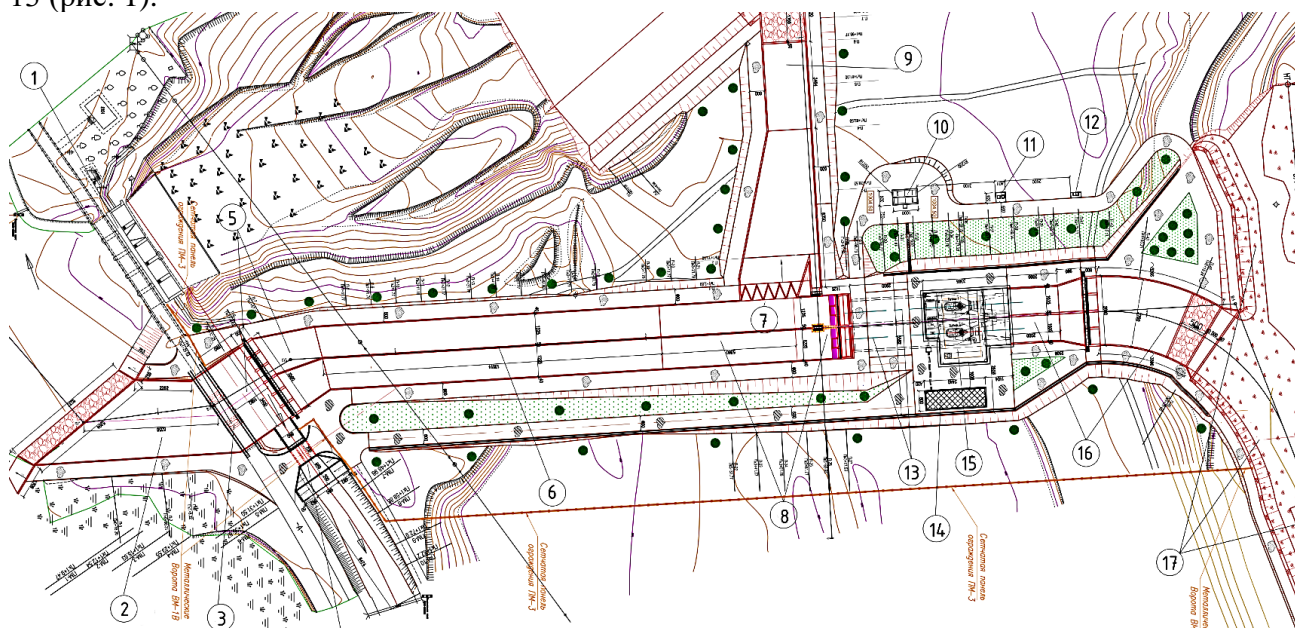


Рис. 1. Плановое размещение гидротехнических сооружений при устройстве Жанажольской малой ГЭС на реке Шу: 1 – водозаборное сооружение; 2 – водоприемный оголовок с подводящим каналом; 3 – автодорожный мост через деривационный канал; 4 – переезд через правобережный канал; 5 – распределительный узел; 6 – открытый деривационный канал; 7 – водослив автоматического действия; 8 – напорный бассейн; 9 – холостой сброс; 10 – дом с комнатой для отдыха; 11 – площадка для мусора; 12 – биотуалет; 13 – турбинные водоводы; 14 – трансформаторная подстанция; 15 – здание МГЭС; 16 – отводящий сбросной канал; 17 – зарегулированная отводящая русла гидроузла

### 1. Принцип расчета водоприемного оголовка с подводящим каналом деривации

Водоприемник (водоприемный оголовок) 2 представляет собой гидротехническое сооружение, располагаемое в водотоке (река Шу), предназначенное для приема и подачи речной воды в деривацию.

На участке водоприемного оголовка деривации потери напора приняты равными скоростному напору в канале [3]:

$$h_1 = \frac{\alpha V_{з.п.макс}^2}{2g}. \quad (1)$$

Ширина подводящего канала принята равной 34 м с расчетной глубиной 3,0 м. Потеря напора на участке подводящего канала, при максимальном расходе воды  $Q_{max}$  определяемый из формулы Шези [2]:

$$h_2 = \frac{Q_{max}^2}{\omega^2 C^2 R} l_{в.п.} \quad (2)$$

Максимальная скорость движение водного потока в зимние месяцы (при пропуске расходов воды  $Q_{max} = 80-90 \text{ м}^3/\text{с}$ ) определяется из уравнения неразрывности жидкости.

Площадь поперечного сечения потока  $\omega$ , гидравлический радиус водного потока  $R$ , смоченный периметр  $\chi$ , определяются по известным формулам для прямоугольного сечения подводящего канала. Коэффициент Шези рассчитан по формуле Маннинга [2].

Результаты расчета гидравлических параметров подводящего канала приведены в таблице 1.

Таблица 1

$v_{з.п.макс}$ , м/с	$v_{з.п.мин}$ , м/с	$\omega$ , м <sup>2</sup>	$R$ , м	$\chi$ , м	$C$ , м <sup>0,5</sup> /с
0,78	0,88	102	2,55	40	71

Потери напора  $h_1$  и  $h_2$  учитываются при определении действующего напора турбин, их расчетные значения приведены в таблице 2.

## 2. Гидравлический расчет водослива автоматического действия

Водослив автоматического действия 7 устраивается для недопущения переполнения деривационного канала в период, когда подаются максимальные расходы воды. Для повышения пропускной способности предложено устроить полигональный водослив общей длиной водосливного фронта 50,0 м и шириной по гребню 0,3 м. Расход истечения через неподтопленный водослив автоматического действия определяется по известной формуле [5]:

$$Q_{ав} = m_{ав} L_{ав} \sqrt{2g} H_{ав}^{1,5}, \quad (3)$$

где  $m_{ав}$  – коэффициент расхода при истечении через полигональный водослив [5];  $H_{ав}$  – напор над гребнем водослива.

## 3. Принцип расчета глубинного холостого водосброса

Далее по ходу движения водного потока в береговой стенке напорного бассейна устроен глубинный холостой водосброс 9 с размерами 3,0×3,0 м. Он предусмотрен для сброса излишков воды и опорожнения деривации при остановке гидроагрегатов МГЭС. Расход воды во входной части глубинного водосброса определим по формуле [4]:

$$Q_{хс} = \mu \omega_{хв} \sqrt{2g(H_{max} - a)}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода при истечении через большое отверстие [4];  $\omega_{хв}$  – площадь отверстия холостого водосброса;  $H_{max}$  – максимально допустимая глубина воды в напорном бассейне;  $a$  – максимальное открытие затвора холостого водосброса при свободном истечении.

## 4. Расчет потерь напора в напорном бассейне

Напорный бассейн 8 является сопрягающим сооружением и служит для подачи воды из открытого деривационного канала 6 в напорные турбинные водоводы 13. На входном оголовке турбинных водоводов 13 устанавливается сороудерживающая решётка.

Местные потери напора на решетке составят [2]:

$$h_3 = \xi_p \frac{\alpha v^2}{2g}, \quad (5)$$

где  $\xi_p$  – коэффициент местных сопротивлений [2];  $v$  – скорость движения воды перед решеткой.

Потери напора на входе в турбинные водоводы [2]:

$$h_{\text{вх}} = 0,5 \frac{\alpha V_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{вх}}$  – средняя скорость на входе в турбинные водоводы, с учетом геометрических размеров поперечного сечения.

5. Гидравлический расчет турбинного водовода.

Турбинному водоводу задана S-образная форма для минимальных сопротивлений при пропуске воды. При этом потери напора будут складываться из местных гидравлических потерь  $\sum h_m$  и потерь по длине трубопроводов  $h_{\text{дл}}$  [3]:

$$h_4 = \sum h_m + \lambda \frac{L}{D} \frac{\alpha V_{\text{ТБ}}^2}{2g}, \quad (7)$$

где  $V_{\text{ТБ}}$  – скорость водного потока в турбинном водоводе;  $\sum h_m$  – местные потери напора в трубопроводе, которые складываются из величин:

$$\sum h_m = h_{\text{вх}} + h_{\text{вых}} + 2h_{\text{пов}}, \quad (8)$$

где  $h_{\text{вх}}$  – потери на входе в трубопровод, определяется по формуле (6);  $h_{\text{вых}}$  – потери напора на выходе из трубопровода;  $h_{\text{пов}}$  – потери напора на поворотном участке турбинного водовода.

$$h_{\text{вых}} = \xi_{\text{вых}} \frac{\alpha V_{\text{ТБ}}^2}{2g}; \quad h_{\text{пов}} = \xi_{\text{пов}} \frac{\alpha V_{\text{ТБ}}^2}{2g}, \quad (9)$$

где  $\xi_{\text{вых}}$ ,  $\xi_{\text{пов}}$  – коэффициенты местных сопротивлений на выходе и при плавном повороте.

Результаты расчетов всех потерь напора приведены в итоговой таблице 2.

Таблица 2

$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$h_3, \text{ м}$	$Q_{\text{ав}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{хс}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_4, \text{ м}$
0,04	0,003	0,015	28	63	0,08

**Выводы:**

1. Сформулированы принципы гидравлического расчета установившегося движения потока в гидротехнических сооружениях малой ГЭС Жанажол на р Шу.
2. Определены расчетные значения расходов истечения через водослив автоматического действия и глубинный холостой водосброс, достаточные для недопущения переполнения и обеспечения опорожнения деривационного канала при остановке агрегатов.
3. Рассчитаны суммарные потери напора по трассе достаточно крупных водоводов, равные  $\sum h_i = 0,14 \text{ м}$ , незначительно влияющие на величину действующего напора турбин.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Борисова С.В. Большое будущее малых ГЭС. 2020. URL: [https://www.korem.kz/rus/press-centr/novosti\\_otrasli/?cid=0&rid=9254](https://www.korem.kz/rus/press-centr/novosti_otrasli/?cid=0&rid=9254)
2. Механика жидкости и газа (гидравлика). / Е.Н. Кожевникова, А.И. Лаксберг, Е.А. Локтионова, М.Р. Петриченко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 90 с.
3. Механика жидкости и газа (гидравлика) / Гиргидов А.Д. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. 546 с.
4. Механика жидкости и газа (гидравлика): Методические рекомендации для выполнения и оформления курсовых и расчетно-графических работ / Е.Н. Кожевникова, Е.А. Локтионова, В.Т. Орлов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 39 с.
5. Справочник по гидравлическим расчётам. / Под редакцией П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. 312 с.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕРМИНАЛА: МЕТОД КЕПНЕРА-ТРЕГО

На стадии разработки проектной документации часто появляется необходимость сравнить различные варианты реализации проекта в отсутствии возможности полноценной стоимостной оценки [1–3]. Для решения данной проблемы можно использовать различные подходы, одним из которых является сравнение вариантов по методу Кепнера-Трего [4, 5].

Этот метод был разработан Чарльзом Кепнером и Бенджамином Трего в 1958 г. и впервые описан в книге «Рациональный руководитель» (1965 г.) [6].

Данный метод призван устранить следующие проблемы принятия решений:

- проблема нерационального использования имеющейся информации.
- проблема неверной постановки исходной задачи.
- проблема принятия решения в условиях большой неопределенности.

Основу метода составляет принятие решения таким образом, чтобы конечной целью любого принятого решения становился наилучший выбор из возможных вариантов. Предложенная методика анализа решений гарантирует, что ничего не будет упущено, выбор будет рациональным и наилучшим из возможных.

В начале необходимо сформулировать задачу: чем точнее она сформулирована, тем проще будет найти наилучшее решение. Затем формируется перечень целей, описывающие желаемый результат.

Цели делятся на «обязательные» и «желательные». Обязательные цели – приоритетны и должны быть выполнены безусловно, чтобы успех принятого решения был гарантирован. Варианты, которые не удовлетворяют этим минимальным запросам, отвергаются. Наряду с «обязательными» есть «желательные» цели, например оптимизация стоимости или сроков строительства. Если вариант решения задачи соответствует «желательным» целям, то он увеличивает свои шансы.

Для оценки вариантов в методе Кепнера-Трего применяется коэффициент значимости для оценки «желательных» целей. А весовая оценка показателя определяется как соответствие варианта цели. Оценочный балл для каждого варианта выводится как сумма произведений коэффициента значимости на весовую оценку.

Вариант, набравший наибольшее количество баллов, считается предварительным наилучшим решением задачи.

В данном исследовании метод был использован для выбора места размещения терминала. Рассматривалось три варианта размещения.

Первый вариант – предусматривал строительство двух оградительных сооружений для создания защищенной акватории, размещался ближе остальных к сырьевой базе и находился рядом с существующим городом со своей портовой инфраструктурой. Компоновочная схема первого варианта представлена на рисунке 1.

Второй вариант – предусматривал использование естественной защищенной акватории для размещений причала, но его расположение было существенно дальше остальных от сырьевой базы. Рядом есть существующий грузовой терминал. Практически вся эстакада от сырьевой базы до терминала идёт по территории без существующей транспортной инфраструктуры. Компоновочная схема второго варианта представлена на рисунке 2.

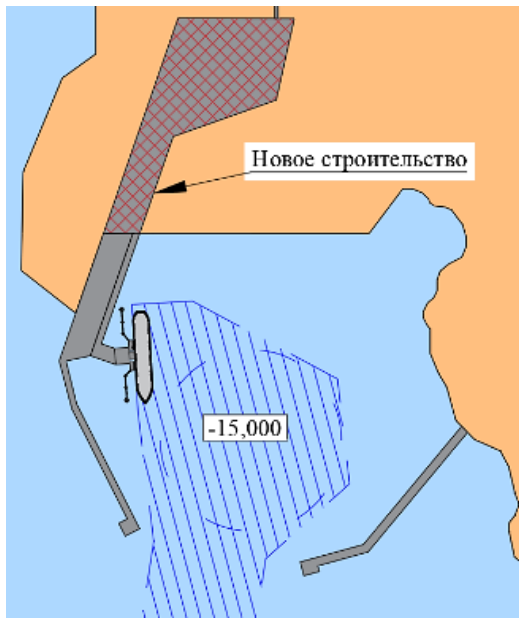


Рис. 1. Первый вариант размещения объекта

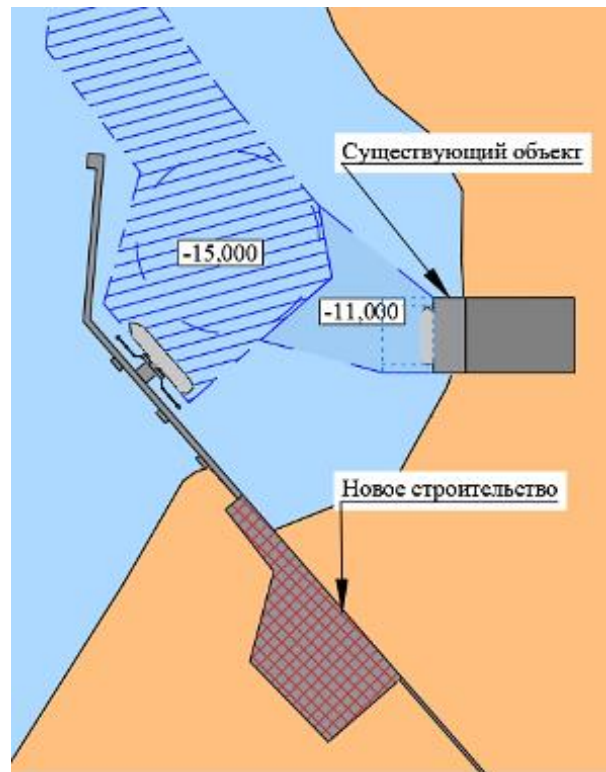


Рис. 2. Второй вариант размещения объекта

Третий вариант – предусматривал строительство одного оградительного сооружения, размещался на среднем расстоянии от сырьевой базы между. В районе имеется существующий причал для приема строительных грузов. При этом глубины акватории в районе строительства не очень большие – требуется строительство протяженного подходного канала. Компоновочная схема третьего варианта представлена на рисунке 3.

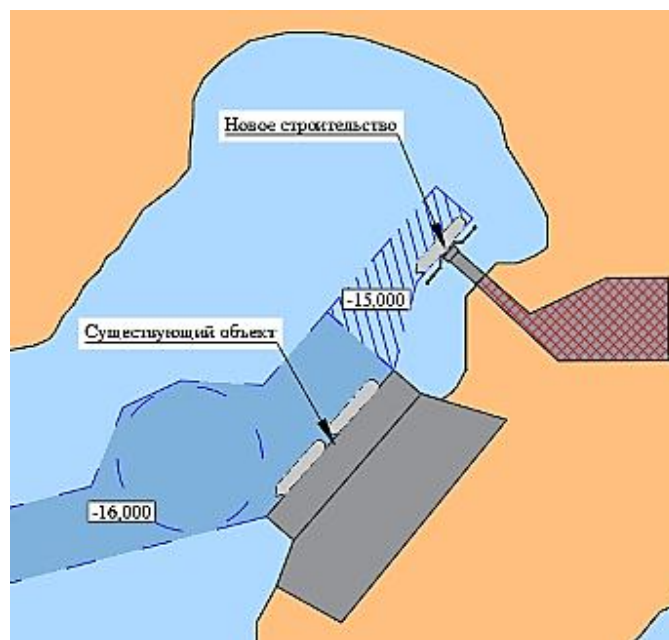


Рис. 3. Третий вариант размещения объекта

Далее был составлен список «желательных целей», по которым была проведена сравнительная оценка каждого варианта. Результаты сведены в таблицу, представленную на рисунке 4.

№ п/п	«Желательные» цели	Коэффициент значимости W	Весовая оценка показателя					
			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			S1	W·S1	S2	W·S2	S3	W·S3
1	Как можно ближе к сырьевой базе (минимальная протяженность эстакады)	10	10 Близко	100	1 Далеко	10	8 Средне	80
2	Быстрый срок строительства объекта (с учетом эстакады до сырьевой базы)	10	7 Медленно	70	7 Медленно	70	10 Быстро	100
3	Минимальный объем строительно-монтажных работ (с учетом эстакады до сырьевой базы)	8	1 Большой	8	10 Маленький	80	5 Средний	40
4	Наличие строительной инфраструктуры	8	10 Есть	80	5 Слабая	40	2 Нет	16
5	Минимальный объем дноуглубительных работ	6	2 Средний	12	10 Маленький	60	1 Большой	6
6	Использование существующих причалов для приема строительных грузов	4	10 Да	40	5 Трудно	20	8 Возможно	32
7	Расположение Объекта в границах морского порта	3	0 Вне границ	0	0 Вне границ	0	10 В границах	30
8	Наличие места для проживания работников	2	10 Есть	20	0 Отсутствует	0	10 Есть	20
9	Перспектива развития	1	8 Есть	8	2 Маленькая	2	10 Большая	10
<b>Суммарная оценка (<math>\sum W \times Si</math>):</b>			<b>338</b>		<b>282</b>		<b>334</b>	
<b>Рейтинг</b>			<b>1</b>		<b>3</b>		<b>2</b>	

Рис. 4. Сравнение вариантов размещения объектов

Как видно из сравнительной таблицы наибольшую суммарную оценку по совокупности «желательных» целей набрал первый вариант, таким образом он является наилучшим и рациональным.

#### *Выводы*

По итогам выполненной работы можно определить преимущества использования метода Кепнера-Трего:

1. Системность в анализе различных обстоятельств и факторов, связанных с проблемой при поиске корневой причины;
2. Универсальность, что помогает использовать метод в любой области;
3. Возможность оценки нескольких вариантов в условиях недостатка исходных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев Н.Д. Компоновка порта. Изд-во Политехн. ун-та, 2021. 95 с. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-17
2. Беляев Н.Д., Вилькевич В.В. Экспертиза технического состояния морских гидротехнических сооружений. Гидротехническое строительство. 2007. № 5. С. 37–45.
3. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Вилькевич В.В. Анализ проблем, связанных с обследованиями портовых ГТС (на примере глубоководной достроечной набережной). Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 110–117.
4. Кузьмин А.М. Методика Кепнера-Трего//А.М. Кузьмин, Е.А. Высоковская// Методы менеджмента качества. 2011. – №7. – С. 35.
5. Itexpert© [Электронный ресурс]. <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16235>
6. Kepner C.H., Tregoe V.B. The Rational Manager. 1965 – С. 275.

## СПОСОБЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ЛЕДОВЫХ ОСТРОВОВ МЕТОДОМ НАСЛАИВАНИЯ ЛЕДОВЫХ ПОЛЕЙ

*Цель работы* – разработка новых решений по строительству ледовых островов, а также составление нормативной базы по расчету способа проектирования и строительства ледового острова. Для достижения данной цели представляется способ возведения ледовых островов путем наслаивания ледовых полей.

При анализе существующих решений по организации добычи полезных ископаемых и геологической разведки видна тенденция на устройство шельфовых платформ различного типа. Наименее распространённым является решение по проектированию и строительству ледовых островов, а существующие методы по организации данного типа конструкций не являются полностью изученными. Таким образом поднимается вопрос актуальности в разработке методов проектирования и строительства ледовых островов.

Существует несколько основных способов возведения ледовых островов:

- Блочный метод возведения, который основывается на строительстве ледового из заранее заготовленных блоков;
- Метод послойного намораживания, представляющий собой технологию по периодическому наливу воды на существующее ледовое поле;
- Метод дождевания, являющийся иным методом распространения воды на ледовое поле путем периодического разбрызгивания воды.

Также существуют различные способы по примораживанию ледового острова ко дну моря с помощью хладоисточника и трубообразных элементов. При возведении ледового острова в условиях вечной мерзлоты может быть организован холодообмен между ледовым островом и вечномерзлым слоем с помощью конструкции из шурфов и внутренних полостей.

Описание метода возведения ледовых островов методом наслаивания и самой конструкции ледового острова:

- При проектировании ледового острова необходимо заложить следующие характеристики: Диаметральное расстояние острова должно варьироваться в диапазоне 80–120 м. Минимальные граничные значения обусловлены необходимостью организации условий эксплуатации острова (возведение башенной конструкции, расположение производственного и бытового хозяйственного оборудования, устройство вертолетной площадки и причального фронта с целью коммуникации острова с материковой частью и др.). Максимальные граничные значения обусловлены сложностью возведения конструкции в первую очередь, зависящую от технико-экономического показателя при применении оборудования по натаскиванию ледовых полей друг на друга;
- Максимальные глубины в месте проектирования острова не должны превышать 15–20 м. Данная характеристика напрямую зависит от дислокации предполагаемого острова, так как существует зависимости толщины ледового покрова от температуры окружающей среды, которая напрямую зависит от географической широты. Толщина ледового покрова напрямую влияет от количества наслаиваемых друг на друга ледовых полей и, как следствие, на максимальную высоту острова от уровня морского дна;
- Соленость воды акватории, при которой сформировавшееся ледовое поле будет иметь оптимальные прочностные и жесткостные характеристики. Данный критерий требует подробного расчета зависимости солёности от конструктивных особенностей ледовых полей;

- Температура окружающей среды, при которой будет обеспечено оптимальное смерзание наслаиваемых ледовых полей. Данный критерий также требует подробного теплотехнического расчета контактируемых поверхностей верхней части подтапливаемого поля и нижней части наслаиваемого поля;
- Срок возведения ледового острова не должен превышать максимальное значение, полученное по результатам экономического расчета предполагаемой конструкции.

Таким образом главным критерием и основой метода лежит топографическая разведка с целью выбора места для дислокации острова.

При организации наслаивания ледовых полей необходимо предусмотреть упор первого нижнего поля, в качестве которого можно рассмотреть шпунтовое ограждение. Схема представлена на рис. 1.

В качестве механизма натаскивания полей можно рассмотреть различные буксировочные устройства и типы крепления ледового поля к ним. При подборе механизмов следует провести анализ воздействующих на них нагрузок. Примерная схема механизма представлена на рис. 2.

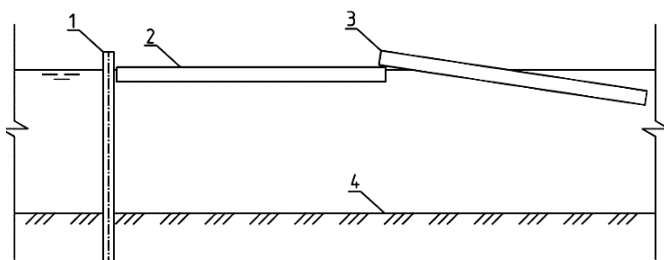


Рис. 1. Схема натаскивания первого слоя ледового поля: 1 – шпунтовое ограждение; 2 – первый (нижний) слой острова; 3 – натаскиваемое ледовое поле; 4 – дно моря

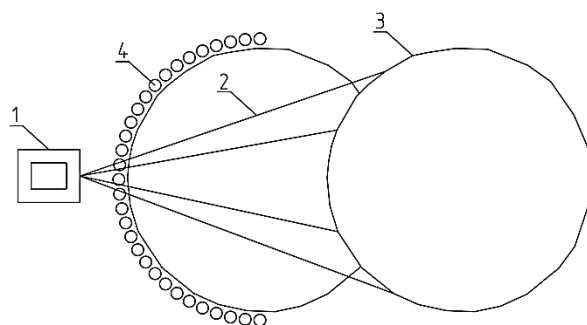


Рис. 2. Схема натаскивания слоев ледового поля (вид в плане); 1 – буксировочное устройство; 2 – механизм крепления; 3 – ледовое поле; 4 – шпунтовое ограждение (упор)

Далее при поочередном наслаивании ледовых полей необходимо убедиться в качестве смерзания слоев. При отсутствии необходимой послойной прочности необходимо улучшить степень смерзания путем устройства дополнительного оборудования в виде прокладки трубок с холодообменом, штоковых полостей. Для анализа послойной прочности необходимо выполнить теплотехнический расчет.

После натаскивания последнего слоя ледового поля необходимо закрыть контур острова путем забивания шпунтового ограждения (рис. 3, 4). При этом необходимо предусмотреть гравитационное опирание острова на дно акватории. Также важным критерием при закрытии контура является неподвижность ледовых полей как относительно друг друга, так и относительно шпунтового ограждения. Для обеспечения стационарности полей в контуре острова необходимо предусмотреть степень припая ледовых полей к шпунту. Степень надежности конструкции также определяется теплотехническим расчетом ледовых полей при контакте со шпунтовым ограждением.

При расчетах конструкции необходимо предусмотреть воздействия от организации производственных, бытовых и хозяйственных нужд ледового острова, метеорологических условий районирования, нагрузки судов по причальному фронту.

Так как основное воздействие будет на шпунтовое ограждение, необходимо также предусмотреть расчеты согласно действующим нормативно-правовым актам. Также имеет место необходимость расчета долговечности острова в условиях месторасположения и демонтажа при коротких сроках эксплуатации.



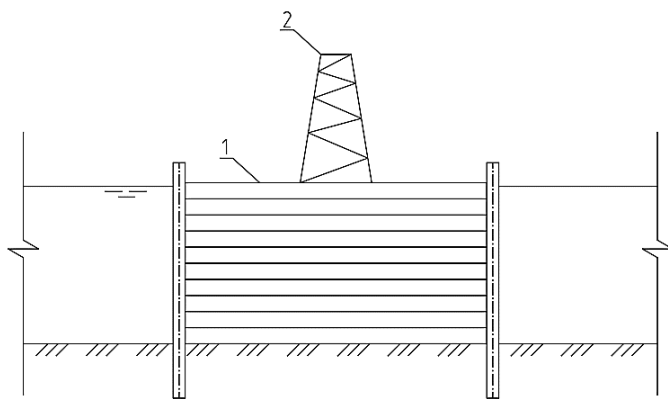


Рис. 3. Схема итоговой конструкции острова:  
1 – гравитационный ледовый массив;  
2 – башенная конструкция

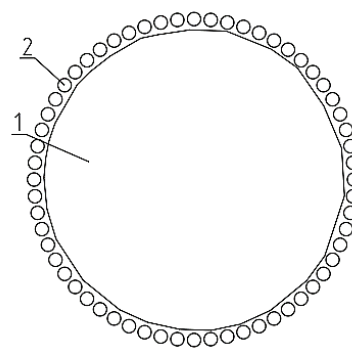


Рис. 4. Схема итоговой конструкции острова (вид в плане):  
1 – гравитационный ледовый массив;  
2 – шпунтовое ограждение

Основными преимуществами ледового острова и метода послойного возведения являются:

- Экологичность при устройстве и эксплуатации острова;
- Низкая стоимость строительства ввиду значительного использования природных конструктивных элементов и малого количества эксплуатируемой техники и человеческого труда;
- Низкая материалоемкость;
- Бесперебойность работы;
- Рекультивация;
- Технологичность.

Основными недостатками являются:

- Сезонность возведения конструкции;
- Отсутствие нормативного обоснования при проектировании и строительстве;
- Новизна метода возведения и, как следствие, отсутствие расчетных математических и физических моделей и практического применения;
- Учет многочисленных критериев при проведении расчетов и проектирования данным методом.

*Выводы.* Проведенный анализа преимуществ и недостатков метода послойного возведения ледового острова дает основу для обоснования возможности его практического применения при проектировании и строительстве. Возникает необходимость подготовки нормативной и расчетной базы с целью минимизирования недостатков и увеличения преимуществ данного метода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреева С.А., Шарапов Д.А. Ледовые острова, схемы и особенности / Андреева С.А., Шарапов Д.А. – DOI: 10.18454/mca.2023.40.1.
2. Sharapov D. Evolution of Ice Load Prediction Tools for Hydrotechnical Construction / D. Sharapov // E3S Web of Conf. – 2023. – 402. DOI: 10.1051/e3sconf/202340205023.
3. Шарапов Д.А. Термодинамическая модель ледового воротника в гидротехническом строительстве / Д.А. Шарапов, Ю.С. Клочков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – 25 (3). – с. 107–113. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-3-107-113.
4. Сазонов К.Е. Материаловедение. Свойства материалов. Методы испытаний. Лед и снег / К.Е. Сазонов. – СПб: РГГМУ, 2007. – 195 с.
5. Войтковский К.Ф. Механические свойства льда / К.Ф. Войтковский // Акад. наук СССР. Сев.-Вост. отд-ние Ин-та мерзлотоведения им. В.А. Обручева. – 1960. – 1. – с. 97–99.

АНАЛИЗ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ  
ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СУДОРЕМОНТНОГО КОМПЛЕКСА

Целью исследования является анализ акватории Черного моря для определения целесообразности строительства судоремонтного комплекса. Проведение такого анализа необходимо ввиду стремительно изменяющейся геополитической ситуации и продолжительного роста объемов грузоперевозок через Азово-Черноморский бассейн на протяжении более полутора десятка лет. Для достижения поставленной цели необходимо изучить и проанализировать информацию о грузопотоке товаров в бассейне, определить финансовую необходимость и найти подходящее место для судоремонтного комплекса [1].

Приведенные в статье данные собраны за последние 15 лет. Азово-Черноморский бассейн является вторым наиболее развитым бассейном в России по экспорту/импорту товаров за границу. Большую часть экспорта через Черное море составляют – уголь, нефтепродукты, зерно и контейнеры. В Азово-Черноморском бассейне находится крупнейший порт России – Новороссийск. Не менее 50% от экспортируемого зерна через Юг России сейчас приходится на страны Северной Африки и Турцию.

На рисунке 1 приведены сведения по грузообороту в бассейнах, омывающих Российскую Федерацию [2].

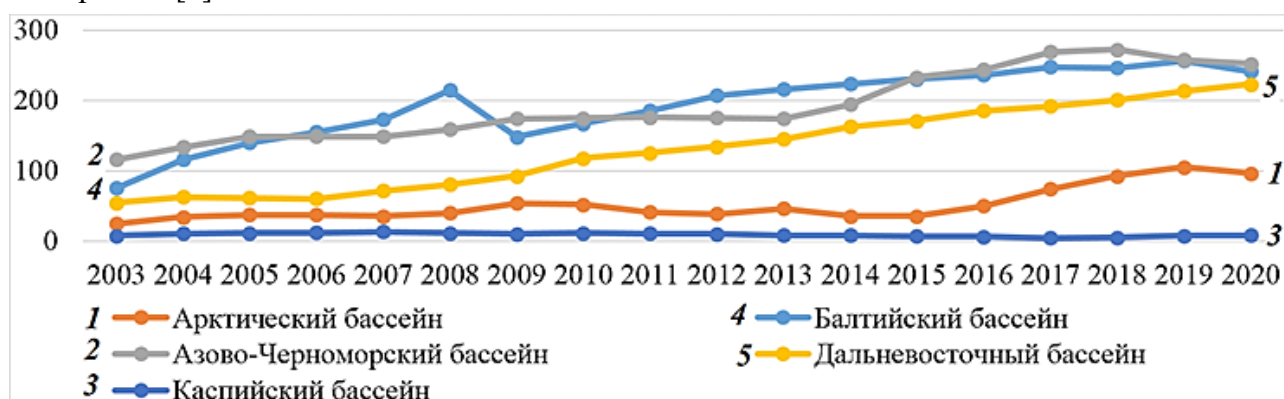


Рис. 1. Суммарный грузооборот товаров в РФ

В Азово-Черноморском бассейне находится всего 10% судоремонтных, как и судостроительных мощностей, около 74% расположены на Балтике, а также в Центре и Поволжье и еще 12% размещены на Дальнем Востоке [3].

Оставшиеся мощности локализованы в Сибири и на Урале. Подобное распределение приводит к тому, что нагрузка на порты южных регионов несоразмерно велика. Недостаток судоремонтных мощностей, как и общее старение флота приводит к тому, что приходится прибегать к фрахтовке иностранных судов, преимущественно из Турции. Подобная мера, как и страхование грузов с внушительной премией приводит к тому, что российские товары становятся менее рентабельными для продажи в страны MENA (географический регион, объединяющий страны Магриба и Ближнего Востока).

Стоит отдельно отметить и то, что в последние годы российским судам выгоднее уходить в Китай, Южную Корею или Турцию для проведения ремонтных работ. Тот же Азиатско-Тихоокеанский регион обладает крупнейшими во всем мире и наиболее технологичными судоремонтными и судостроительными комплексами. Ко всему прочему, он обладает и

самыми большими темпами к росту [4]. Подобная ситуация сложилась в том числе и потому, что плавучие и сухие доки, сохранившиеся еще с времен СССР, требуют реновации или полноценной замены.

Всё вышеперечисленное доказывает то, что уже сейчас существует ощутимая необходимость в новых отечественных судоремонтных мощностях широкого профиля, по той причине, что данное направление в России планомерно не развивалось практически со времен Советского Союза. Новый порт с возможностью для судоремонта мог бы существенно облегчить данную потребность в регионе Черного моря, с перспективой развития в качестве конкурента для Турецкого судоремонтного комплекса, а также первого импульса для планомерного обновления торгового флота на Юге России.

Одним из перспективных мест для подобного комплекса является Херсонская область, находящаяся на новоприобретённых территориях Российской Федерации. Данное расположение видится одним из возможных ввиду наличия существующих логистических цепочек, способных обеспечить перевалку достаточных объемов грузов, способную разгрузить загруженные порты на северо-востоке Чёрного моря, таких как Новороссийск, Туапсе и прочие.

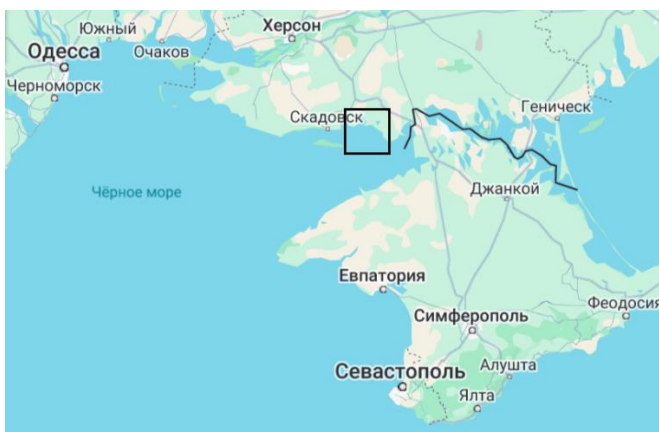


Рис. 2. Расположение порта в Азово-Черноморском бассейне

Предлагаемое расположение порта, совмещенного с судоремонтным комплексом, показано на рисунке 2.

На основании анализа материалов отчета [5] рекомендуется использовать объект-аналог крытого сухого дока, расположенного в г. Висмар. А именно связку из двух и более однотипных доков, что позволит производить судоремонт нескольких сухогрузов одновременно. На рисунке 3 представлен разрез объекта-аналого [6].

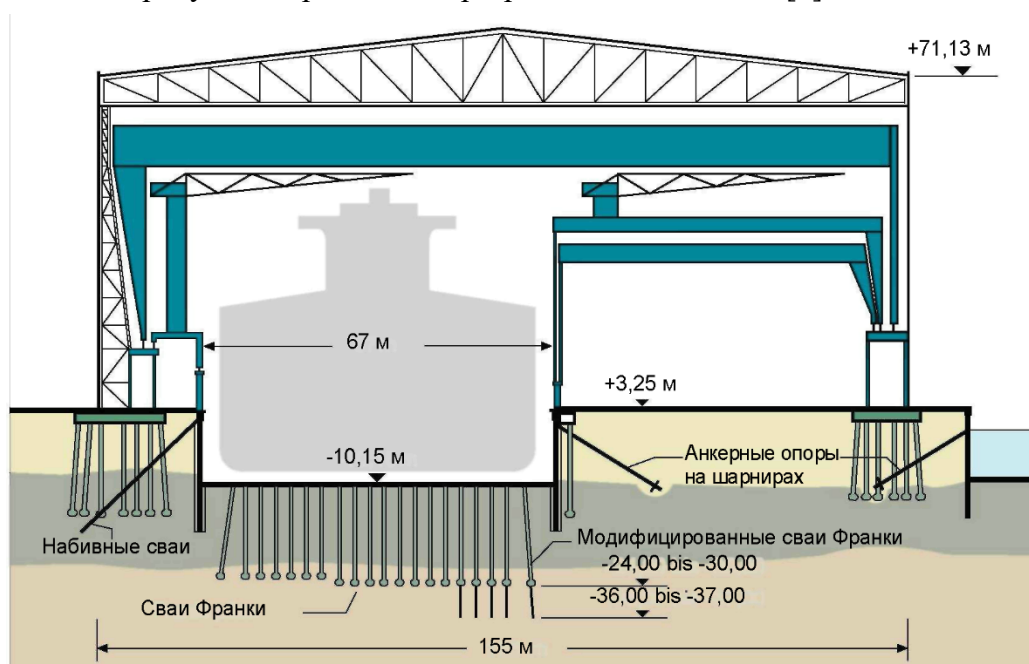


Рис. 3. Разрез дока и докового цеха

Данный выбор был принят в том числе ввиду сходства характеристик грунтов, на которых предположительно будет располагаться судоремонтный комплекс, как и того факта, что для размещения комплекса придется закреплять фундамент за счет модифицированных свай Франки. В ходе строительства будут применяться облегченные железобетонные и металлические несущие конструкции, с обеспечением максимально механизированных способов их возведения и применением технических решений, направленных на исключение действия давления грунтовых вод. Также используются тонкостенные конструкции с вертикальной анкерровкой днищевой плиты.

Для реализации проекта предлагается ввести льготный налоговый режим, аналог свободной торговой зоны в ОАЭ, Сингапуре, Китае и иных странах, который бы позволил импортировать необходимые детали для ремонта и реновации судов по конкурентноспособным ценам относительно стран Европы и Турции.

#### *Выводы*

- В работе проведен анализ акватории Черного моря с целью определения целесообразности строительства судоремонтного комплекса.
- Была выявлена необходимость дальнейшего развития судоремонтной отрасли на Юге России и создания отечественных мощностей для удовлетворения данной потребности.
- Предложено конкретное место размещения порта с судоремонтными мощностями.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вакуленко А.М. Современные тенденции развития судостроения. XXXVIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской НПК. Ч. I. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2009, с. 10–12
2. Галлямов М.А., Уколов Ю.С. Грузооборот морских портов России и предложения по его увеличению. Неделя науки СПбГПУ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Часть 1. ИСИ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021.
3. Вильде Т. Журнал PortNews. Забытый судоремонт. URL: <https://portnews.ru/magazine/a114/>
4. Mordor Intelligence. Shipbuilding Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024 – 2029). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ship-building-market>
5. Конструктивно-технологические, эксплуатационные и экономические особенности создания на ведущих зарубежных верфях посточно-спусковых комплексов с сухими доками, оснащёнными крановым оборудованием большой грузоподъёмности и соответствующими объектами инфраструктуры для строительства крупнотоннажных объектов морской техники. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме: «Изучение зарубежного опыта строительства и использования сухих доков за последние 30 лет». СПб.: АЦИА, ЦБВО, 2009, 235 с.
6. Судостроительный завод Aker MTW в г. Висмар. MTW Schiffswerft GmbH Wismar. 12 с.

УДК 627.224.2

И.В. Курносков, Д.А. Шарапов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ШВАРТОВКЕ КРУПНОТОННАЖНЫХ ТАНКЕРОВ

*Целью исследования* является анализ аварийных ситуаций, которые возникают в результате навалов крупнотоннажных танкеров на причалы. Анализ аварий является необходимым для разработки мер для повышения безопасности морских операций. Для достижения поставленной цели необходимо изучить и проанализировать информацию о случаях навала судов и возникших чрезвычайных ситуациях, а также определить наилучшие гидрометеорологические условия, в частности провести анализ ледовых условий, при которых наиболее вероятно возникновение чрезвычайной ситуации.

Приведенный в работе анализ основан на данных, собранных за последние 15 лет. Порт, в котором собрана статистика, расположен в восточной части Финского залива. Причалы включают в себя отдельно стоящие железобетонные конструкции (швартовные и швартовно-отбойные палы) на свайном основании (рис. 1).

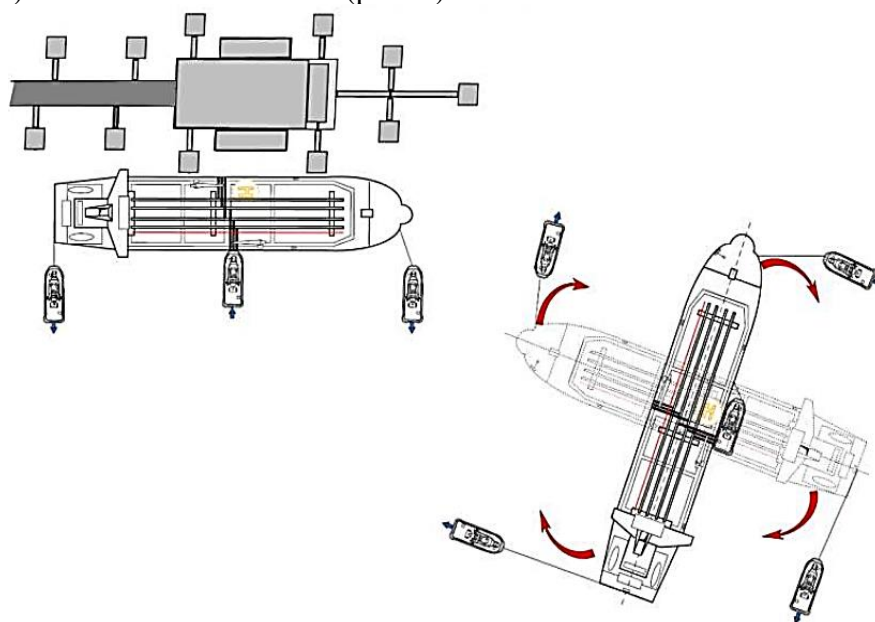


Рис. 1. Схема швартовки к причалу

Ветровой режим в районе акватории порта зависит от характера распределения атмосферного давления по территории и его изменчивости в течение года. Ветровой режим определяется устойчивостью, степенью развития и характером взаимодействия барических центров. В большей части района с сентября-октября по март-апрель преобладают ветры южных и юго-западных направлений [1]. С мая по июль-август наиболее вероятны ветры северо-западных и северных направлений. Из ветров других направлений чаще всего наблюдаются ветры восточного направления. Средняя годовая скорость ветра составляет 4,0 м/с. Наибольшие скорости ветра наблюдаются в осенне-зимний период и достигают 24 м/с.

Ледовая обстановка в районе порта создает затруднения для судоходства в зимние месяцы. Это связано с высокой неравномерностью дрейфа льда в данном районе, и, как следствие, с большой интенсивностью сжатий и торошения льда. Восточная часть Финского залива ежегодно, даже в мягкие зимы, покрывается неподвижным льдом. Мощность ледяного покрова зависит от суровости зимы. Как правило, ледовый период начинается в середине ноября и заканчивается в начале мая. На глубине 6,0–9,0 м, в 420–450 м от берега, толщина льда составляет 0,3–0,6 м. Толщина льда меньше при глубинах от 0,5 до 7,0 м. При такой глубине, на расстоянии 200 м от береговой линии, толщина льда находится в пределах от 0,1 до 0,5 м.

За последние 15 лет зафиксировано 30 случаев навала судна на причал, из них треть (всего 10 навалов) произошли при наличии льда в акватории, остальные происшествия фиксировали в дни, когда акватория была свободна от каких-либо ледовых образований. Согласно данным работы [2], один инцидент привел к разрушению пала. Авария произошла из-за обрыва швартовного каната и последующего за этим навала танкера. Две аварии привели к повреждению железобетонных конструкций пала. Причиной являлось превышение нормативной нагрузки от судна в момент касания танкера с причалом. Эти аварии вывели пал из работоспособного состояния [3].

Навалы судов, которые привели к аварийной ситуации и возникновению чрезвычайной ситуации, наблюдались только при отсутствии льда в акватории порта. Серьезная авария, из-за которой произошло разрушение швартовного пала, произошла осенью (20.11.2016 г.), в

период наихудших волновых и штормовых условий в году. Две аварии, которые привели к повреждению железобетонных конструкций пала, также зафиксированы осенью, до образования льда в акватории.

Остальные случаи навала танкеров на причал не привели к нарушению целостности железобетонных конструкций и потери устойчивости конструкций причала [4], после них причал сохранил работоспособное состояние. В период ледовых явлений самые ранние случаи навала танкеров произошли в январе, самые поздние – в апреле. Следует отметить, что в основном навалы на причал в зимний период фиксировались в феврале, когда толщина льда в районе порта достигает максимальных значений.

В весенне-осенний период навалы чаще всего происходят в ноябре, месяце с наихудшими ветровыми условиями и осенними штормами. В зимний период происшествия наблюдались, преимущественно, при ветрах Юго-восточных и Юго-западных направлений, максимальная скорость порывов ветра достигала 31 м/с, минимальная – 1 м/с. Средняя скорость ветра, при которой суда совершили навал на причал зимой, лежит в пределах от 2 до 6 м/с.

В месяцы, при которых акватория была свободна ото льда, происшествия наблюдались, преимущественно, при ветрах Южных и Западных направлений. Максимальная скорость порывов ветра составила 20 м/с, минимальная – 2 м/с. Средняя скорость ветра, при которой судна совершили навал на причал, лежит в пределах от 5 до 10 м/с.

#### *Выводы:*

1. Некоторые ледовые условия в акватории порта, могут увеличивать вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при швартовке судна. Тем не менее, они не являются определяющим фактором для возникновения аварийной ситуации.
2. Главными факторами, которые влияют на возникновение аварийной ситуации при швартовке судна, являются скорость и направление ветра.
3. При швартовке судов осенью вероятность возникновения чрезвычайной ситуации выше, чем в другие времена года. Это обусловлено максимальной средней скоростью ветра в этот сезон и осенними штормами.
4. Зимой риск возникновения чрезвычайной ситуации выше в месяцы, когда толщина и прочностные характеристики ледового покрова достигают максимальных значений.
5. Для избежания чрезвычайных ситуаций в зимний период рекомендуется разработать и применить комплекс мероприятий по мониторингу [5] и управлению ледовой обстановкой в акватории порта.
6. В связи с большой интенсивностью сжатий и торошения льда в районе акватории, необходимо ограничить подход дрейфующих полей льда и торосистых образований к причалам. Также необходимо обосновать максимально возможную площадь ледового поля, при которой возможна безопасная эксплуатация порта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Капитальный ремонт причалов №№3,4. Замена пала П-28/Проектная документация. Раздел «Оценка воздействия на окружающую среду»– СПб.:2020, ООО «Морстройтехнология» – 71 с.
2. Капитальный ремонт причалов №№3,4. Замена пала П-28/Проектная документация. Раздел 6 «Проект организации строительства»– СПб.: 2021, ООО «Морстройтехнология» – 143 с.
3. Савельева В.В. Влияние ледовой нагрузки на устойчивость основания ЛСП-1 / В.В. Савельева, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 35–37.
4. Шарапов Д.А. Устойчивость каменной наброски к подвижкам льда методом КЭ / Д.А. Шарапов, А.С. Сумцова // Гидротехническое строительство. – 2023. – № 2. – С. 2–7.
5. Шарапов Д.А. Развитие методов оценки ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения / Д.А. Шарапов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 6(116). – С. 92-97. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-6-92-97.

МЕТОД МНОГОВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НИЗКОНАПОРНЫХ  
ГИДРОУЗЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛАТФОРМЫ NANOCAD

Низконапорный гидроузел – сложное инженерное сооружение, которое характеризуется повышенной ответственностью и высокими капитальными затратами [1]. При проектировании гидроузла важно учитывать различные конфигурации сооружений (грунтовая плотина, водосливная плотина, здание ГЭС), которые могут быть представлены в большом количестве вариантов, удовлетворяющих заданным ограничениям. Таким образом, имеет место проработка множества вариантов компоновки сооружений и выбор оптимального на основании критерия минимизации затрат на возведение гидроузла.

Объектом исследования является метод многовариантного проектирования. Предмет исследования – низконапорный гидроузел с водосливной плотиной и грунтовым подпорным сооружением в условиях Ставропольского края.

*Целью работы* является разработка алгоритма многовариантного проектирования низконапорного гидроузла с грунтовой однородной плотиной и водосливной плотиной практического профиля.

Задачи, поставленные в рамках исследования:

1. Изучение инструментов автоматизации проектирования низконапорных гидроузлов;
2. Алгоритмизация расчетов сооружений гидроузла и программирование на языке Python с помощью nanoCAD COM API;
3. Построение 3D-модели гидроузла в среде платформы nanoCAD;
4. Анализ результатов и выбор оптимального варианта.

В настоящее время активно применяются САПР- и ТИМ-системы для моделирования гидротехнических сооружений [2]. Для геотехнических и фильтрационных расчетов успешно применяется ПО Plaxis, на данный момент не имеющее аналогов на отечественном рынке [3]. Также набирают популярность и принимаются в рассмотрение для использования в процессе проектирования технологии искусственного интеллекта и языковых моделей, способных обрабатывать инженерные данные и естественный язык [4]. Для выполнения задач данной работы была выбрана отечественная САПР-платформа nanoCAD. Одна из главных причин – наличие открытого API, что позволяет выполнять разработку собственных скриптов и приложений для автоматизации расчетов и построения геометрии.

Для решения задачи оптимизации составляется математическая модель, содержащая аналитическое решение зависимостей с некоторыми ограничениями. Математическая модель дополняется цифровой моделью рельефа (ЦМР) и геометрической 3D-моделью сооружений гидроузла, выполненными в отечественной САПР nanoCAD.

Оптимизация производится с учетом следующих критериев:

- минимизация объема грунтовой плотины;
- минимизация объема водосливной бетонной плотины;
- обеспечение требуемой пропускной способности водослива;
- обеспечение требуемых параметров крепления нижнего бьефа.

Затраты на здание ГЭС в целевой функции не учитываются, так как это сооружение проектируется в одном варианте в рамках данного исследования.

Целевая функция:

$$S = V_1 P_1 + V_2 P_2 + V_3 P_3, \quad (1)$$

где  $V_1$  – объем грунтовой плотины,  $\text{м}^3$ ;  $P_1$  – цена за  $1 \text{ м}^3$  привозного грунта, руб.;  $V_2$  – объем бетонных сооружений,  $\text{м}^3$ ;  $P_2$  – цена за  $1 \text{ м}^3$  гидротехнического бетона, руб.;  $V_3$  – металлоемкость плоских затворов, т;  $P_3$  – цена за 1 т стали 09Г2С, руб.

Очевидно, что при увеличении длины водосливного фронта увеличивается объем бетонных работ и металлоемкость, но уменьшается длина грунтовой плотины. Следовательно, в функции суммарных затрат должен наблюдаться минимум.

В работе использовались аналитические формулы из [5, 6]. Метод состоит из следующих шагов:

#### 1. Создание цифровой модели рельефа

Проектирование гидроузла в среде САПР непременно должно начинаться с создания цифровой модели рельефа (ЦМР). С помощью модуля «Топоплан» платформы nanoCAD можно построить цифровую модель рельефа по точкам. В рамках данной работы точки были получены путем создания объекта «Точка» по вершинам полилиний – горизонталей.

#### 2. Расчет грунтовой плотины

С помощью разработанной программы для ЭВМ выполняется расчет профиля грунтовой плотины для порядка 100 сечений по длине створа. В отчет записываются данные об отметке гребня грунтовой плотины и другие данные, которые в дальнейшем используются другими программами. Вместе с расчетом производится автоматическое создание точек в модели, по которым пользователь строит триангуляционную поверхность.

#### 3. Моделирование здания ГЭС

Разработанная программа для ЭВМ позволяет определять габариты здания ГЭС по заданным исходным данным, которые специалист заранее рассчитывает по установленным методикам подбора гидроэнергетического оборудования ГЭС. В результате программа создает несколько (число задается пользователем) вариантов здания ГЭС с учетом минимума выемки котлована. При этом окончательное решение о выборе местоположения здания ГЭС остается за пользователем с учетом удобства производства работ по поочередному возведению гидроузла. Результат вызова программы – набор призм (форма здания ГЭС в данной работе оценивается приближенно), из которых специалист сохраняет лишь один вариант.

#### 4. Расчет вариантов водосливной плотины

Разработанная программа для ЭВМ позволяет рассчитать все возможные варианты ориентировочных габаритных размеров водосливной плотины с учетом установленных ограничений. В результате выполнения функции в модели отрисовываются разрезы водосливной плотины по всем вариантам (рис. 1) и создается отчет с результатами расчетов, в том числе объемов бетонных работ.

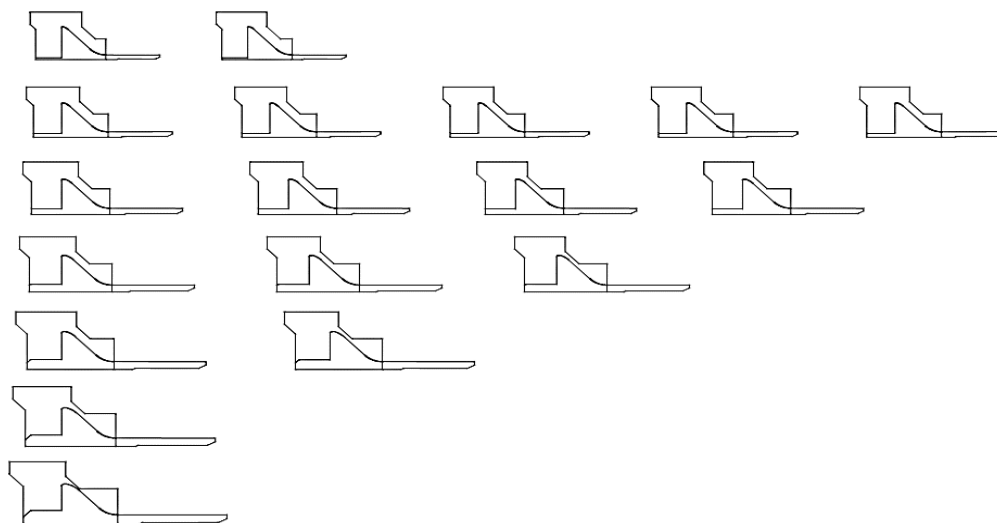


Рис. 1. Автоматически построенные профили вариантов водосливной плотины



## 5. Построение 3D-модели водосливной плотины и грунтовой плотины

В дальнейшем для расчета объемов грунтовой плотины потребуется создание 3D-модели водосливной плотины по каждому варианту. Пользователь для каждого варианта создает отдельную копию исходного чертежа и запускает в нем программу с необходимыми исходными данными. Далее вручную создается триангуляция по точкам плотины, полученным в шаге 2, исключая точки, находящиеся в теле бетонных сооружений. Результат для одного из вариантов представлен на рис. 2.

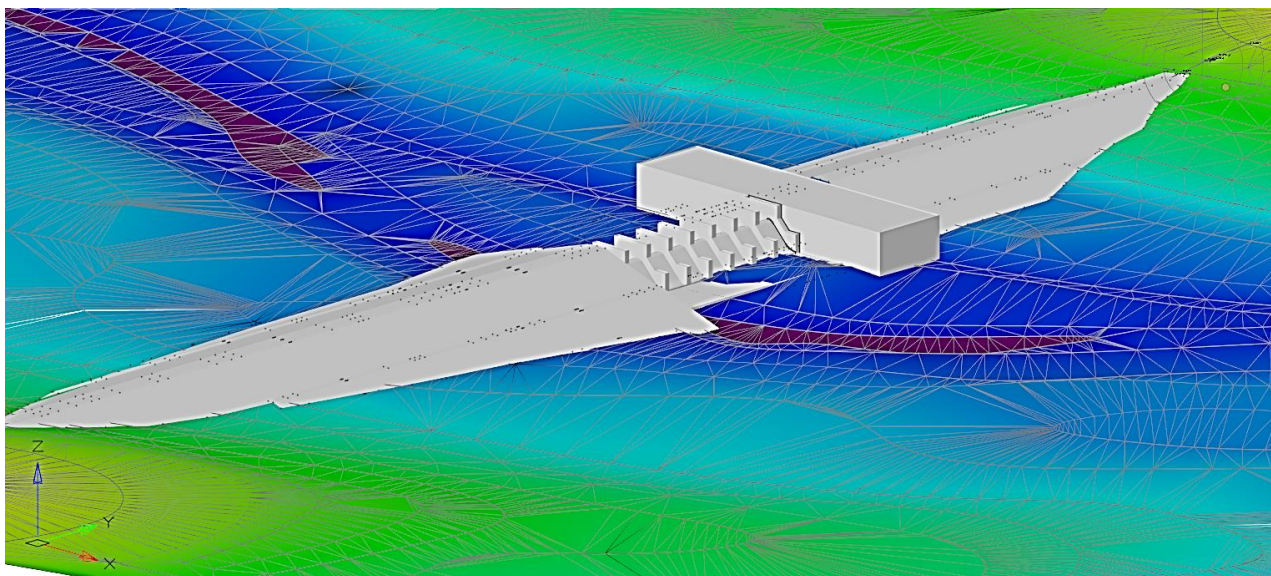


Рис. 2. 3D-модель водосливной плотины

## 6. Расчет объемов земляных работ и анализ результатов

Объем грунтовой плотины считается в среде napoCAD по двум триангуляционным поверхностям. В дальнейшем оцениваются затраты на материалы по грунтовой плотине, бетонным сооружениям водосливной плотины и металлоконструкциям плоских затворов.

*Выводы.* По предварительной оценке, минимальным затратам на материалы соответствует конфигурация отверстий водосливной плотины: 7 отверстий с пролетом в свету 12 м. Данный вариант выбран для дальнейшей детальной проработки.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бухарцев В.Н. Речные гидротехнические сооружения. Водосбросные сооружения низконапорных гидроузлов: учеб, пособие / В.Н. Бухарцев. – СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2013. – 88 с
2. Соловарова К.В. Разработка 3D модели причала эстакадного типа с помощью платформы Napocad «Модуль 3D». / Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 40–43.
3. Еременко К.В. Фильтрационный расчёт грунтовой плотины Мельничной МГЭС мощностью 412 квт в Карелии в среде PLAXIS / К.В. Еременко, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 23–25.
4. Георгиев М.А. Использование справочных систем на основе искусственного интеллекта для гидротехнического проектирования / М.А. Георгиев, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 20–22.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
6. Бухарцев В.Н. Водосливная плотина в составе низконапорного транспортно-энергетического гидроузла : учеб.-метод. пособие / В.Н. Бухарцев, И. Того, И.Е. Фролова. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 70 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРИСТАЛЛООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК  
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА

*Актуальность.* При оценке долговечности бетонных и железобетонных конструкций обычно учитываются параметры химической стойкости, водонепроницаемости и морозостойкости. За счет своей пористой структуры цементные материалы подвержены проникновению жидкостей и газов, которые могут содержать вредные вещества. Поэтому повышение водонепроницаемости бетона является *важной и актуальной задачей*.

*Цель работы* — исследовать целесообразность использования кристаллообразующих добавок для повышения водонепроницаемости бетона.

Сопротивление проникновению воды является ключевым параметром, связанным с долговечностью бетонных конструкций при эксплуатации в условиях повышенной влажности. Для улучшения долговечности бетона путем повышения водонепроницаемости доступны различные типы химических добавок [1].

Гидрофобизирующая группа добавок включает в себя различные кремнийорганические составы в виде побочного продукта производства кремния или ферросилиция (FeSi) – кремнезёма, полученного путем восстановления кремнезёма в электрической печи [2, 3], известного как «силикатный дым», обладающего высокой пуццолановой активностью и придающего бетону свойства гидрофобизатора. Пуццоланизация удаляет большие кристаллы портландита и пробелы между зёрнами цемента заполняются цементным гелем, что делает цементный камень менее проницаемым [4]. Данные добавки выпускаются в качестве водных растворов, в которых содержится около 30 % твёрдого вещества [5].

Химически активные наполнители также предлагаются в качестве подходящих для гидроизоляции веществ [6]. Для повышения водонепроницаемости доступны различные семейства кристаллообразующих добавок, основанных на процессе гидратации цемента в бетоне [7].

Кристаллообразующие химические вещества являются гидрофильными материалами, обладающими способностью реагировать с цементом в присутствии воды, увеличивая плотность кальциевых силикатных гидратов в бетоне и образуя осадки, блокирующие поры в капиллярах и микротрещинах. Также присутствуют свойства самовосстановления, даже при использовании низких доз [6].

Для выполнения испытаний были выбраны две кристаллообразующие добавки: «Krystaline Add1» и «Krystaline Ultra».

Суть испытания заключается в подвергании постоянному гидростатическому давлению цилиндров с предварительно созданными трещинами контролируемой толщины, и измерение изменений во времени потока воды, циркулирующей через трещины.

Испытание позволяет оценить эффект самоуплотнения кристаллизующейся добавки путем сравнения результатов, полученных для стандартного бетона (без добавки), с результатами, полученными для испытуемых образцов, изготовленных из бетона, содержащего добавку в смеси.

Испытательная установка состоит из конструкции, прикрепленной к полу лаборатории, на которой установлен резервуар для воды, а внизу – испытуемые образцы на сетке (рис. 1).

Забор воды производится путем подключения резервуара с водой к водопроводной сети шлангом, а постоянный уровень воды поддерживается с помощью клапана с поплавком.



- Резервуар, подключенный к сети водоснабжения. Поплавковый клапан, для поддержания уровня воды
- На резервуаре установлено 4 разделительных трубы, имеющих запорный кран
- Отводы для удаления воздуха
- Под решеткой, на которой размещены выступы – место для размещения емкости, позволяющей измерять расход

Рис. 1. Внешний вид установки

Среднюю ширину трещины получают путем измерения фактической ширины трещины в 9 точках на каждой поверхности образца и последующего усреднения показаний. Образцы со средней трещиной менее 0,2 мм или более 0,7 мм отбраковываются.

Все образцы, которые имеют трещины с допустимой величиной (не менее 0,2 мм и не более 0,7 мм), устанавливаются в конструкцию, присоединенную к системе трубопроводов, по которым столб воды будет спускаться из резервуара.

Затем измеряют реальный расход воды, который проходит через каждый образец, открывая краны на резервуаре, позволяя столбу воды достичь образца. Под каждый образец ставится емкость для сбора воды, циркулирующей через трещину под гидростатическим давлением, создаваемым водяным столбом. Параллельно получается идеализированный поток  $q_i$ , который определяется формулой (1).

$$q_i = \frac{\Delta p b w^3}{12 \eta l}, \quad (1)$$

где  $\Delta p$  – перепад давления воды на входе и выходе из трещины;  $b$  – длина трещины;  $w$  – ширина трещины;  $\eta$  – динамическая вязкость воды;  $l$  – длина потока.

В расчете на реальный начальный  $q_i$  и идеализированный поток  $q_r$  каждого образца, получаем коэффициент уменьшения  $\xi_k$  и средний коэффициент уменьшения  $\xi$  всех образцов, определяемые уравнениями (2) и (3).

$$\xi_k = \frac{q_{rk}}{q_{ik}}; \quad (2)$$

$$\xi = \frac{\sum_{k=1}^N \xi_k}{N}, \quad (3)$$

где  $k$  – номер образца в зависимости от ширины трещины;  $N$  – общее допустимое количество образцов на замес;  $q_{rk}$  – фактический начальный поток из образца;  $q_{ik}$  – идеализированный поток из образца.

Эквивалентная ширина трещины на цилиндре  $w_{ek}$  определяется с использованием уравнения (1), фактического измеренного потока  $q_{rk}$  и среднего коэффициента уменьшения  $\xi$  по формуле (4).

$$w_{ek} = \left( \frac{q_{rk} \cdot 12\eta l}{\xi \Delta p b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Было изготовлено 6 образцов – цилиндров трех составов (2 без добавки, 2 с добавкой «Krystaline Add1» и 2 с добавкой «Krystaline Ultra»). Испытания проводились после набора прочности образцами.

Образцы были приготовлены согласно следующим исходным данным: В/Ц = 0,49, Ц = 396 кг,  $r = 0,41$ . Испытания проводились в течение 14 суток с образцами, хранившимися перед испытаниями в камере нормального твердения 28 суток.

Результаты расчета эквивалентной ширины трещины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета эквивалентной ширины трещины  $w_{ek}$

	Без добавки	Krystaline Add1	Krystaline Ultra
0 сутки	0,55	0,61	0,63
2 сутки	0,55	0,61	0,63
4 сутки	0,55	0,58	0,63
6 сутки	0,55	0,57	0,61
8 сутки	0,55	0,54	0,59
10 сутки	0,54	0,53	0,55
12 сутки	0,54	0,51	0,54
14 сутки	0,54	0,48	0,51

*Выводы.* Результаты испытаний образцов цилиндров с добавкой показывают, что использование добавки повышает скорость гидратации цемента в бетоне, что в свою очередь создает эффект самовосстановления бетона. Так в образцах из замеса с использованием добавки «Krystaline Add1» эквивалентная ширина трещины снизилась на 0,13 мм за 14 суток, а в образцах с добавкой «Krystaline Ultra» – 0,12 мм. Данные показатели указывают на то, что при использовании добавок данного типа возможно повысить водонепроницаемость бетона за счет самозалечивания трещин, возникающих в ходе эксплуатации конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексеев С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. –М.: Стройиздат, 1990. – 315 с.
2. Surahyo A. Concrete Construction. Practical Problems and Solutions, 1st ed.; Springer Nature: Basel. Switzerland, 2002. – 51 p.
3. Traetteberg A. Silica Fumes as a Pozzolanic Material / A. Traetteberg // Cemento. – 1978. – 369-375 pp.
4. Sellevold E.J. Review: Microsilica in Concrete. Project Report / E.J. Sellevold. – Oslo, Norwegian Building Research Institute, 1984. – 51 p.
5. Kurdowski W. Cement and concrete chemistry // Springer Science & Business. Netherlands, 2014.
6. Колбасов В.М. Структурообразующая роль суперпластификаторов в цементном камне бетонов и растворов // Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. – М.: НИИЖБ. 1985. – 126–134 с.
7. De Belie N. et al. A review of self-healing concrete for damage management of structures //Advanced materials interfaces, 2018. – Т. 5. – №. 17. – 1800074 с.

МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ОСНОВАНИЯ  
КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

*Цель работы* – исследовать воздействие льда на гидротехническое основание I класса [1] круглого сечения с габаритным размером 15,82 м, выполненного из трубошпунта с внешним диаметром 1,42 м [2].

Для достижения поставленной цели была разработана натурная модель сооружения для испытаний. Обработка результатов модельных исследований и пересчет их на натурные данные осуществляется в соответствии с используемой в ледовом опытовом бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр» методикой. В основе методики заложены принципы моделирования физических процессов, предполагающих соблюдение критериев геометрического, кинематического и динамического подобия [3].

Разрезная модель гидротехнического основания, состоит из нескольких элементов. Исключение каждого из нижних элементов позволяет уменьшить высоту сооружения и смоделировать альтернативный вариант глубины акватории. Эскиз модели сооружения представлен на рисунке 1, цветом выделены отдельные элементы, которые могут быть демонтированы в процессе проведения испытаний.

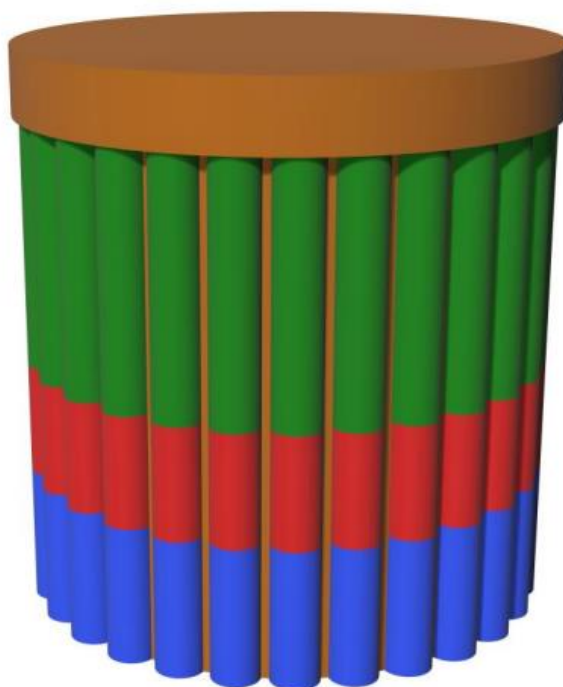


Рис. 1. Эскиз разрезной модели гидротехнических оснований круглого сечения с габаритным размером 15,82 м

Геометрическая форма сооружения является наиболее важным фактором, влияющим на характер разрушения ледяного покрова и образования нагромождений при взаимодействии с дрейфующими ледяными образованиями [4]. Гидротехническое основание представляет собой узкую конструкцию с вертикальной стенкой. Рассматриваемое в данной работе сооружение имеет круглое сечение с габаритным размером 15,82 м.

Основным типом разрушения льда основанием при взаимодействии с ровным ледяным покровом является дробление с выдавливанием большого количества ледяной крошки.

Процесс взаимодействия льда и сооружения сопровождается уходом под воду, а также в стороны от сооружения, скопившихся ледяных обломков [5]. Размеры ледяного нагромождения, образующегося возле основания, достаточно быстро приобретают конечные размеры, а процессы разрушения льда носят циклический характер.

Наличие трубошпунта придает искусственную неровность поверхности сооружения, с которой взаимодействует лед, что интенсифицирует процесс его разрушения за счет дробления посредством создания точек приложения силы, однако увеличивает ледовую нагрузку на сооружения за счет трения льда о трубошпунт.

Испытания модели производились по двум сценариям:

1. Дрейф ровного льда. Отметка дна  $-9,5$  м. Уровень моря  $+3,92$  м;
2. Дрейф ровного льда. Отметка дна  $-9,5$  м. Уровень моря  $-0,95$  м.

Моделируемые параметры ледовых условий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Программа экспериментальных исследований гидротехнического основания

Сценарий	Угол дрейфа, градусы	Толщина льда		Скорость дрейфа льда		Уровень моря	
		Натура, м	Модель, мм	Натура, см/с	Модель, мм/с	Натура, м	Модель, мм
Ровный лед.	0	1,66	55	57,67	105	+3,92	+131
Отметка дна $-9,5$ м	0	1,66	55	57,67	105	$-0,95$	$-32$

На рисунке 2 показан характерный эпизод испытаний модели гидротехнического основания круглого сечения с габаритным размером  $15,82$  м при уровне моря  $+3,92$  м в ровном льду.

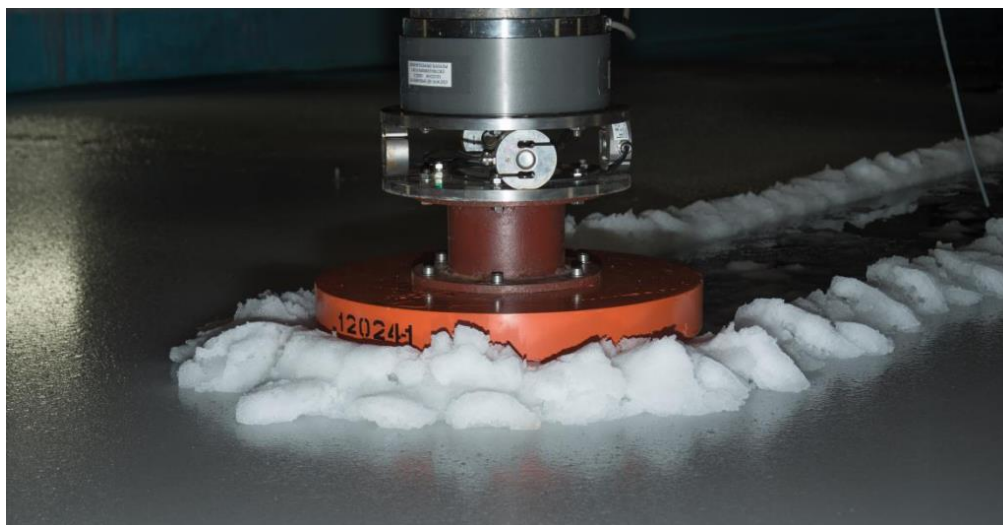


Рис. 2. Взаимодействие гидротехнического основания под навигационный знак с ровным ледяным покровом толщиной  $1,66$  м. Скорость дрейфа  $57,67$  см/с. Отметка дна  $-9,5$  м. Уровень моря  $+3,92$  м

При воздействии дрейфующего ровного ледового поля на гидротехническое основание круглого сечения с габаритным размером  $15,82$  м можно наблюдать разрушение льда дроблением с образованием ледяной крошки. Значительная глубина воды для сценария воздействия льда при уровне моря  $+3,92$  м не способствует касанию разрушенных обломков льда дна акватории. При уменьшении уровня воды до значения  $-0,95$  м отмечено взаимодействие разрушенных обломков льда с дном акватории. Однако, в обоих случаях образование стамухи возле гидротехнического основания и попадание обломков льда на поверхность сооружения при воздействии ровного ледяного покрова для отметки дна  $-9,5$  м не происходит.

В таблице 2 приведены измеренные компоненты глобальной ледовой нагрузки на гидротехнические основания круглого сечения с габаритным размером 15,82 м от ровного ледяного покрова.

Таблица 2 – Максимальные среднепиковые значения компонент глобальной ледовой нагрузки от ровного льда и торосов, пересчитанные на натурные условия

Номер пробега	Направление дрейфа, градус	Уровень моря, м	Толщина льда, м	Скорость дрейфа льда, см/с	Компоненты глобальной ледовой нагрузки						Гориз. ледовая нагрузка, $P_{\text{сумм}}$ , МН
					$F_x$ , МН	$F_y$ , МН	$F_z$ , МН	$M_x$ , МН·м	$M_y$ , МН·м	$M_z$ , МН·м	
1	-9,5	+3,92	1,66	57,67	22,3	2,1	0,9	35,3	363,1	11,1	22,4
2	-9,5	-0,95	1,66	57,67	19,9	2,2	1,2	15,7	192,5	9,5	20,0

В таблице 3 показаны максимальные высота  $H_{IE}$  и глубина  $D_{IE}$  нагромождений для каждого из рассмотренных сценариев, а также протяженность их языка (скопление льда перед сооружением на поверхности ледового поля)  $L_{IE}$ . Высота  $H_{IE}$  и глубина  $D_{IE}$  нагромождений отсчитываются от уровня воды, протяженность языка  $L_{IE}$  нагромождения – от вертикальной стенки основания.

Таблица 3 – Параметры ледяных нагромождений при воздействии ровного льда, пересчитанные на натурные условия

Номер пробега	Отметка дна, м	Уровень моря, м	Толщина льда, м	Скорость дрейфа льда, см/с	$H_{IE}$ , м	$D_{IE}$ , м	$L_{IE}$ , м
1	-9,5	+3,92	1,66	57,67	2,5	7,0	6,5
2	-9,5	-0,95	1,66	57,67	3,0	8,0	6,0

**Выводы.** В ходе испытаний было установлено, что при контакте оснований с ровным ледяным покровом происходит прорезание поля с образованием мелко разрушенного льда, который выдавливается вниз и вверх относительно ледяной пластины. При этом по периметру зоны контакта сооружения со льдом образуется валик из разрушенного льда высотой от 2,0 до 3,0 м. Также происходит накопление разрушенных обломков льда перед вертикальной стенкой оснований. Протяженность языка нагромождения во всех случаях имеет конечные размеры, т.к. обломки разрушенного льда уносит с дрейфующим льдом по сторонам от сооружения. При этом максимальная горизонтальная нагрузка на сооружение не превышает 22,4 МН.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- СП 58.13330.2019. Свод правил. Гидротехнические сооружения. Основные положения. АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», Москва, 2020.
- ГОСТ Р 52664-2010. Шпунт трубчатый сварной.
- ГОСТ Р 58283-2018. Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ.
- СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82 – Москва, 2014.
- Беккер А.Т. Вероятностные характеристики ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 344.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В Российской Федерации по состоянию на 1 января 2023 г. доля ГТС со сроком эксплуатации более 76 лет составляет 54,8% – более половины сооружений, причем 11,5% имеют срок эксплуатации более 100 лет (рис. 1). В то же время современные нормативные документы, например [2], устанавливают расчетный срок службы для напорных гидротехнических сооружений I и II классов 100 лет, а для сооружений III и IV классов – 50 лет. Таким образом существует противоречие между нормативными актами и реальными техническими состояниями ГТС, которые позволяют продолжать их эксплуатацию на неопределенно долгие сроки.

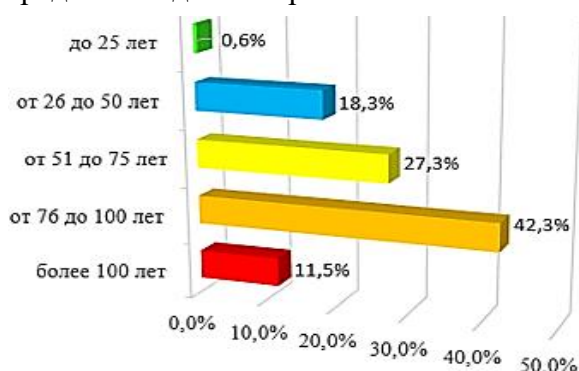


Рис. 1. Сроки эксплуатации ГТС [1]



Рис. 2. Схема факторов возникновения коррозии железобетона

*Цель работы:* привлечь внимание к проблеме назначения срока эксплуатации капиталоемких гидротехнических сооружений. *Общие задачи:* 1) проанализировать методику назначения расчетного срока службы гидротехнических сооружений; 2) изучить причины разрушения бетонных поверхностей гидротехнических сооружений и материалов для ремонтно-восстановительных работ; 3) предложить принципиальную схему ремонтно-восстановительных работ железобетонных ГТС.

Согласно [2], для ГТС одного гидроузла устанавливается единый расчетный срок службы в зависимости от класса сооружения. Как показывает история, распространять назначаемый нормативный срок эксплуатации на все сооружения гидроузла некорректно, поскольку эти сооружения эксплуатируются в различных условиях, испытывая разные воздействия. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС 2009 г. подтверждает этот тезис – плотина от этой аварии не пострадала, водосброс тоже. Ранее произошедшие аварии на водобойном колодце того же гидроузла не повлияли ни на работу плотины, ни на работу ГЭС. Поэтому предлагается при назначении нормативного срока эксплуатации различать сооружения общего назначения (плотины, водосбросы и т.д.) и сооружения специального назначения (энергетические, воднотранспортные и т.д.).

Более того, назначать расчетный срок службы для напорных гидротехнических сооружений нет смысла, поскольку известно, что в некоторых странах Западной Европы до сих пор эксплуатируются плотины и водоводы времен Римской империи, постройка которых датируется первым – вторым веком н.э., например плотины Proserpina и Cornalvo в Испании. Конечно, эти плотины на протяжении без малого двух тысячелетий многократно ремонтировались, но основные объемы этих сооружений дожили до наших дней в первоначальном виде.



В работе предлагается классифицировать такие сооружения как «объекты с возобновляемым ресурсом работоспособности». Срок службы таких сооружений определяется потребностью общества в их эксплуатации и техническим состоянием. В связи с этим проблему создания и применения новых материалов для выполнения ремонтно-восстановительных работ бетонных гидротехнических сооружений следует признать актуальной.

Сформулируем основные причины снижения эксплуатационной прочности бетонных ГТС на примере напорных сооружений. Первым и главным разрушителем поверхностей бетонных сооружений является окружающая среда, но внутри массивного бетонного сооружения это воздействие существенно ослабевает: там устанавливается среднегодовая температура, медленно меняющаяся от года к году. Поэтому при проектировании в профиле массивной бетонной плотины выделяют четыре зоны, к которым предъявляются разные требования по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости [3]. Наибольшие воздействия природной среды испытывают бетонные поверхности плотин в зоне переменного уровня.

Основные виды воздействий окружающей среды на бетонные поверхности сооружений и последствия этих воздействий можно разделить на пять категорий: 1) химическое взаимодействие бетона с нейтральной или слабоагрессивной водной средой в течение длительного времени, в результате чего происходит коррозионное разрушение бетона; 2) воздействие высокоскоростного потока воды на водосливные поверхности, что приводит к кавитационной эрозии этих поверхностей; 3) образование усадочных микротрещин при твердении бетона на стадии возведения сооружений, что облегчает вынос через них продуктов разрушения бетонного камня; 4) биологическая активность водорослей, грибов и их спор, бактерий, что приводит к язвенной коррозии; 5) циклическое замораживание и оттаивание бетона вблизи поверхностей сооружений, что приводит к разрушению поверхностей.

При анализе состояния железобетонных ГТС одной из главных проблем износа сооружений являются коррозионные процессы, протекающие в них. Так, основатель отечественной школы методов защиты бетона и железобетона от коррозии В.М. Москвин все многообразие коррозионных процессов в бетоне предложил разделить на три основополагающих вида [4]: 1. Растворение в жидкой среде и вынос из структуры бетона компонентов цементного камня (выщелачивание); 2. Химические реакции между компонентами цементного камня и раствора, а также обмен катионами. Растворимые продукты реакции выносятся из структуры бетона в результате диффузии или фильтрации, либо теряют свои защитные и вяжущие свойства и перестают оказывать влияние на дальнейший процесс разрушения бетонного камня; 3. Накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы, заполняющей поры бетона, что приводит к возникновению внутренних усилий в бетоне и последовательному разрушению. Аналогичный процесс разрушения бетона гидротехнических сооружений происходит в зоне переменного уровня воды, при многократном замораживании и оттаивании.

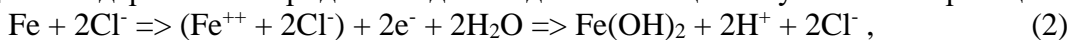
Чаще всего наблюдается сочетание коррозии всех трех видов, но всегда можно определить, какой механизм коррозии является преобладающим, а какие ему сопутствуют.

Процесс коррозии железобетона происходит при сочетании трёх факторов (рис. 2): 1) благоприятная среда для процессов окисления (аэробная среда); 2) возможность обмена ионами (влажная среда); 3, а) низкий показатель РН на поверхности и отсутствие защиты бетона от окисления (возникновение реакции окисления бетона); 3, б) высокая концентрация хлоридов в воде, добавках к бетону и других источниках, а также незащищенность арматуры от их воздействия (процесс коррозии арматуры).

Первые два фактора являются обязательными условиями для протекания химических процессов карбонизации известняка, входящего в состав бетонного камня, который придает пластичность смеси и уменьшает степень воздействия воды на бетон, а также хлоридизации арматуры. С течением времени на поверхности сооружения начинает выделяться углекислый газ, который снижает показатель РН и инициирует процессы карбонизации известняка:



Продукт реакции – карбонат кальция – уже не обладает такими сцепляющими свойствами, как гашеная известь, и легко вымывается из тела сооружения в процессе фильтрации. По ходу разрушения защитного слоя вода подбирается к арматуре. В случае высокого процента содержания хлоридов в воде или добавках к цементу возникает реакция:

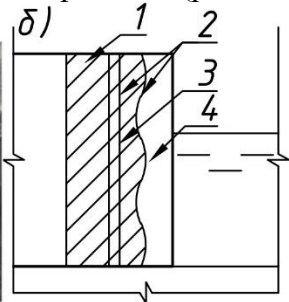


где  $2\text{e}^-$  – промежуточное соединение, образующееся при ржавлении железа [5].

Общие принципы использования материалов для восстановления поврежденных бетонных поверхностей изложены в [6]. Эти материалы представляют собой специальные ремонтные составы, наносимые на поврежденные бетонные поверхности в виде покрытия или пропитки.

Для защиты от коррозии арматуры железобетонных конструкций применяются ремонтные смеси с проникающими добавками – ингибиторами. Ингибитор может выполнять также функцию ускорителя твердения или придания бетону пассивирующих свойств. В свою очередь ингибиторы делятся на катодные и анодные. Ранжирование и выбор наиболее подходящего состава ремонтных смесей зависит от решаемой задачи. При этом не маловажным является экономический показатель применения той или иной ремонтной смеси. Примером таких работ могут служить работы по восстановлению эксплуатационных ресурсов поврежденного морского причала (рис. 3,а).

а)



Принципиальная схема восстановления эксплуатационных ресурсов железобетонных ГТС продемонстрирована на рис. 3,б. Первым этапом следует подготовить старую зону для ремонтно-восстановительных работ 1. Далее предполагается обработка ингибиторами 2 зоны 1 и арматуры. Затем происходит восстановление арматуры 3. Завершающий этап предполагает восстановление требуемых проектных параметров сооружения с использованием нового ремонтного состава.

Рис. 3. Коррозия бетона:

а – пример коррозии первого типа; б – схема ремонтно-восстановительных работ причала

#### Выводы:

1. Предлагается использование нового определения для напорных гидротехнических сооружений: «объекты с возобновляемым ресурсом работоспособности».
2. Установлено, что применение ремонтных смесей может служить основой для обоснованно назначаемого нормативного срока межремонтного периода эксплуатации при проектировании гидротехнических сооружений, что облегчит планирование ремонтных работ.
3. Предложена принципиальная схема ремонтно-восстановительных работ на железобетонных ГТС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Судходные гидротехнические сооружения и сроки их работы // Федеральное агентство морского и речного транспорта (Росморречфлот): официальный сайт. – 2023. – URL: [https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya\\_deyatelnosti/technoy\\_flot/vvt/sudohodnyie\\_gidrotehnichecki\\_e\\_soozheniya/](https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/technoy_flot/vvt/sudohodnyie_gidrotehnichecki_e_soozheniya/) (Дата обращения: 08.03.2024).
2. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
3. СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные.
4. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев; Под общ. ред. В.М. Москвина – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
5. Того И., Калинин С.А. Новые материалы для ремонтно-восстановительных работ бетонных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство – 2019. – №4. С. 21–27.
6. ГОСТ 32016-2012. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 21 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В современном мире портовая инфраструктура играет ключевую роль в мировой торговле и экономике. От эффективности и надежности причальных сооружений напрямую зависит скорость и безопасность морских перевозок [1, 2]. В связи с этим, современные системы мониторинга за конструкциями приобретают особую актуальность, позволяя в реальном времени контролировать состояние инфраструктуры и предотвращать возможные аварии [3].

Система мониторинга технического состояния причальных сооружений включает в себя широкий спектр технологий, от базовых визуальных осмотров до сложных автоматизированных систем, использующих датчики, искусственный интеллект (далее – ИИ) и дронов для сбора и анализа данных. Также современный мониторинг технического состояния ГТС главным образом базируется на автоматических системах, которые включают в себя комплекс датчиков, программное обеспечение и оборудование, необходимое для расшифровки сигналов с датчиков и вывода их на монитор диспетчера [4].

Важно отметить, что такое оборудование позволяет непрерывно отслеживать техническое состояние ГТС, а также оповещать диспетчера и персонал в автоматическом режиме о возникших неполадках, чтобы они могли своевременно их устранить или произвести эвакуацию. Как видим, автоматический мониторинг ГТС обеспечивает безопасность, как самого объекта, так и рабочего персонала.

Одним из ключевых компонентов таких систем являются датчики деформации, которые устанавливаются на критически важных элементах сооружения для отслеживания изменений в их структуре. Эти датчики способны выявлять малейшие трещины и деформации, что позволяет предпринять меры до того, как проблема перерастет в критическую.

На рисунке 1 представлено полное оснащение контрольно-измерительной аппаратурой сорящегося причала типа «больверк», который является наиболее распространенным типом портовой конструкции на территории России.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) также становится все более распространенным для мониторинга технического состояния причальных сооружений. Дроны оснащены камерами высокого разрешения, инфракрасными и тепловизионными камерами, что позволяет проводить тщательный осмотр сооружений с воздуха, включая труднодоступные области.

Кроме того, развивается применение искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа полученных данных. Эти технологии способны обрабатывать огромные объемы информации в реальном времени, выявляя потенциальные проблемы и предсказывая возможные сбои в работе сооружений [5].

Также важно отметить, что с развитием новых методов мониторинга технического состояния ГТС требуется и актуализация нормативной базы, так как действующая нормативная документация не всегда четко регламентирует состав необходимой контрольно-измерительной аппаратуры и отстает от новых технологий.

Современные системы мониторинга предлагают ряд преимуществ для обеспечения безопасности и эффективности работы портовых сооружений [6–9]. Они позволяют своевременно выявлять проблемы, увеличивать срок эксплуатации и предотвращать крупные аварии и разрушения, что может привести к значительным финансовым потерям и угрозе для

окружающей среды. Кроме того, автоматизация процессов мониторинга способствует сокращению времени и ресурсов, необходимых для осмотров и обслуживания сооружений.

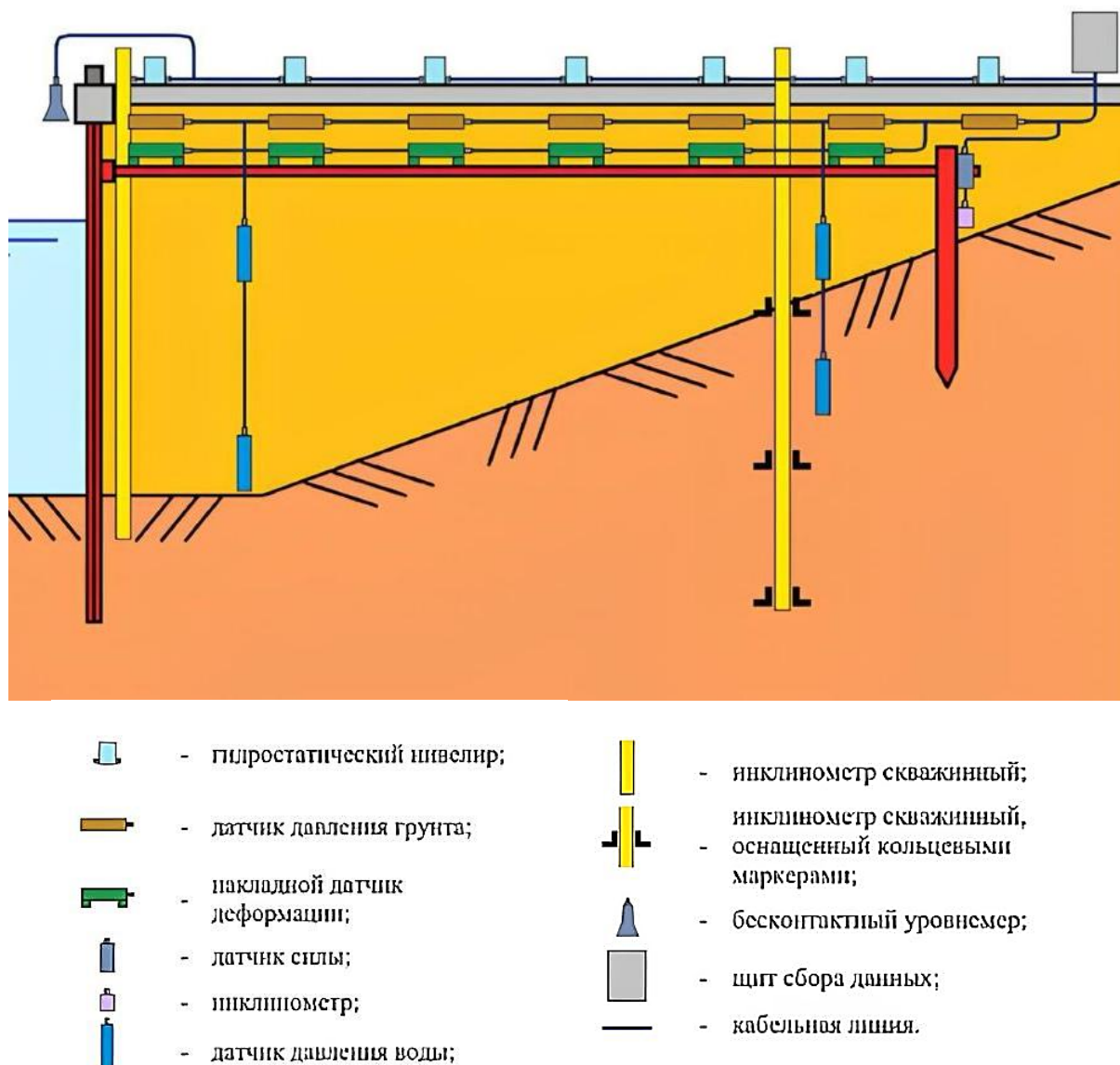


Рис. 1. Схема размещения КИА на строящемся причале типа «больверк»

Внедрение и использование таких систем сталкиваются с рядом проблем. Высокая стоимость оборудования и его обслуживания может стать препятствием для малых и средних предприятий. Устаревшая нормативная база, которая четко не регламентирует состав КИА и отстает от развития новых технологий. Кроме того, необходимы высококвалифицированные специалисты для работы с современными системами мониторинга.

#### *Выводы*

Системы мониторинга технического состояния ГТС играют важную роль в обеспечении безопасности и эффективности портовой инфраструктуры. Благодаря использованию датчиков, БПЛА и искусственного интеллекта, становится возможным своевременное обнаружение и предотвращение потенциальных аварий. Несмотря на существующие проблемы, такие как высокая стоимость и необходимость в квалифицированных специалистах, преимущества, которые они предлагают, делают их незаменимым инструментом.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
2. О безопасности гидротехнических сооружений Федеральный закон РФ N 117-ФЗ от 21.07.1997.
3. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
4. Альхименко А.И., Беляев Н.Д., Фомин Ю.Н. Безопасность морских гидротехнических сооружений. СПб.: Изд-во «Лань», 2003 г.
5. Георгиев М.А. Использование справочных систем на основе искусственного интеллекта для гидротехнического проектирования / М.А. Георгиев, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 20–22.
6. Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Тазеев Т.А. Мониторинг насыпной дамбы, возводимой в МТП Усть-Луга на слабом грунтовом основании. Инженерно-строительный журнал. 2012. № 4 (30). С. 10-16.
7. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д. Контроль качества строительства. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации водохозяйственных и гидротехнических сооружений. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 143 с.
8. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д., Загрядская Н.Н. Инженерная геодезия. Наблюдения за техническим состоянием и деформациями при строительстве и эксплуатации сооружений. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 80 с.
9. Михаленко Е.Б., Загрядская Н.Н., Беляев Н.Д., Вилькевич В.В., Петров В.В., Смирнов А.А. Инженерная геодезия. Современные методы геодезических измерений с использованием искусственных спутников земли. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 80 с.

УДК 626

Л.Г. Ермошкин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ

*Цель работы* – провести экологическую оценку и предложить меры по снижению негативных экологических последствий малых гидроэлектростанций (МГЭС) с использованием SWOT-анализа.

Для проведения экологического анализа рассматриваются малые и мини ГЭС, как наиболее актуальные с точки зрения возможности возникновения негативных экологических последствий для Российской Федерации из-за многочисленности таких сооружений и небольшому сроку службы и выработки энергии по сравнению с более крупными ГЭС [1].

В работе проанализированы наиболее существенные экологические факторы для разработки мер по повышению экологической безопасности МГЭС.

Во-первых, это изменения в гидрологическом режиме рек. Строительство МГЭС требует создания плотин и водохранилищ, что изменяет естественный режим течения рек. При отсутствии надлежащего ухода и контроля это может привести к избытку воды в верхних бьефах в период половодья, повышает риски наводнений и аварий с образованием волн прорыва в сезон дождей. Работа МГЭС может повлиять на потоки воды в реках, что в свою очередь изменяет среду обитания для человека, животных и растений [2].

Во-вторых, угроза биологическому разнообразию. Строительство плотин и ГЭС может создавать препятствия для миграции рыб и других водных организмов, что угрожает их выживанию и разнообразию [4]. Например, исследование влияния МГЭС на реку в Бразилии показало, что они могут привести к сокращению популяций рыб и других видов, зависящих от реки для своего выживания [3]. В Российской Федерации эта проблема особенно актуальна для рек с развитой рыбной промысловой базой и важными видами рыб: в Сибири; на Дальнем

Востоке; в бассейнах северных рек, таких как реки Кольского полуострова и Карелии; в Волжском бассейне. Строительство МГЭС в РФ, создавая преграды для миграции рыб, снижает их популяцию и влияет на рыболовство.

В-третьих, малые гидроэлектростанции в России имеют значительное воздействие на окружающую среду из-за ограниченного срока службы. После завершения срока эксплуатации МГЭС возникает необходимость в реконструкции или ликвидации сооружений [5]. Этот процесс может привести к значительным экологическим последствиям, таким как разрушение природных биотопов. Бесхозяйность МГЭС и, соответственно, отсутствие надзора, мониторинга, обследования и ремонта сооружений способствуют подтоплению акватории и авариям.

Таким образом, вышеприведенные факторы позволяют сделать вывод о необходимости разработки дополнительных мер по снижению негативных экологических последствий при строительстве и эксплуатации МГЭС.

Одним из мероприятий для увеличения срока службы и недопущения преждевременного сноса МГЭС являются своевременные обследования и мониторинг сооружений. Благодаря регулярным и периодическим осмотрам и выявлению повреждений МГЭС можно обеспечить долговечность конструкций с увеличением их экологической безопасности.

Предложения по обеспечению эксплуатационной надежности:

1. На стадии проектирования нужно в полной мере учитывать гидрометеорологические особенности региона, назначение сооружения, условия его эксплуатации, устойчивость к коррозии и т.п.

2. В процессе строительства обеспечивать непрерывный контроль процесса отверждения бетона, чтобы избежать возможных дефектов и повреждений в период строительства.

3. В процессе эксплуатации организовать регулярный мониторинг состояния сооружения с целью своевременного выявления проблем. Для осуществления пропуска воды, работы МГЭС в целом, обеспечения водонепроницаемости и устойчивости сооружения необходимо проводить своевременные осмотры и обследования.

4. Проводить обучение персонала техническим особенностям эксплуатации сооружения.

Для решения проблемы поддержания биологического разнообразия необходимо сократить потери в рыбном хозяйстве путем создания конструкций бесплотинных МГЭС или создания рыбопропускных сооружений в их составе. Также для защиты рыб от попадания в гидротурбины и другие опасные зоны можно рекомендовать установку рыбозащитных эхолокаторов, которые с помощью ультразвуковых волн отпугивают рыбу. Когда рыба подходит к опасной зоне, где установлены гидротурбины или другое оборудование, она начинает воспринимать ультразвуковые волны, излучаемые рыбозащитными эхолокаторами, которые заставят ее отойти от опасной зоны.

Также необходимо создавать водоохранные зоны при строительстве или восстановлении МГЭС. Одно из предложений – привлекать волонтеров и студенческие отряды для благоустройства побережий и организации заповедных территорий.

Приведем результаты SWOT-анализа предложенных мер по снижению негативных экологических последствий:

1. Технический аспект

1.1. Сильные стороны – снижается количество аварий на объектах;

1.2. Слабые стороны – потребует дополнительных мер по привлечению работы технических специалистов;

1.3. Возможности – снижение трудозатрат на реконструкцию сооружений;

1.4. Угрозы – вывод из эксплуатации сооружений в случае аварийности.

2. Экологический аспект

2.1. Сильные стороны – обеспечение сохранности биоразнообразия;

2.2. Слабые стороны – возможное затопление территории в верхнем бьефе в период дождей и паводков;

2.3. Возможности – снижение пагубного влияния на экосистему;

2.4. Угрозы – риск загрязнения окружающей среды из-за несвоевременного обнаружения аварийных ситуаций в эксплуатации МГЭС.

3. Экономический аспект

3.1. Сильные стороны – сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт конструкций; экономия денежных средств при возможном демонтаже конструкций;

3.2. Слабые стороны – дополнительное финансирование на мониторинг и обследование МГЭС;

3.3. Возможности – привлечение инвестиций и финансирования в развитие обследования МГЭС;

3.4. Угрозы – экономический риск при не окупаемости предложенных мер.

4. Социальный аспект

4.1. Сильные стороны – повышение безопасности для работников, общества, животного мира за счет уменьшения риска обрушения и аварийных ситуаций;

4.2. Слабые стороны – возможность возникновения протестов экологических сообществ, требующих более тщательного изучения последствий применения ультразвуковых волн на рыбных жителей;

4.3. Возможности – развитие образовательных программ для повышения осведомленности и понимания общества в безопасности сооружений МГЭС;

4.4. Угрозы – сопротивление общества, которые могут видеть в использовании ультразвуковых волн угрозу для окружающей среды.

*Выводы:*

1. В работе проведена экологическая оценка эксплуатации МГЭС, и отмечен ряд экологических факторов, влияющих негативно на окружающую среду, таких как: изменения в гидрологическом режиме рек, угроза биологическому разнообразию, негативное воздействие на окружающую среду из-за бесхозяйности МГЭС и, соответственно, отсутствия надзора.
2. Разработаны предложения по мерам уменьшения вреда биологическому разнообразию и повышению устойчивости сооружений.
3. Проведен SWOT-анализ предложенных мер, в котором показана эффективность рассмотренных технологий при строительстве и эксплуатации МГЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб, пособие / Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 432 с.
2. Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду: РД 153-34.2-02.409-2003. УДК 626/627:502.7 / Дата введения 2004-01-01
3. Вашингтонский университет. Электронный источник – <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/01/210127171843.htm>
4. Экологические аспекты малой гидроэнергетики. Электронный источник – <https://helpiks.org/9-42528.html?ysclid=lsrodadmz1540478962>
5. Малая гидроэнергетика. Электронный источник – <http://metallurgist.pro/small-hydropower/?ysclid=lsroqjne4s898570975>

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ PLAXIS 2D:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ И АНАЛИЗ

*Целью работы* исследование выполнения расчетов устойчивости системы с использованием программы PLAXIS 2D. Рассматривается схематизация системы, проводятся расчеты устойчивости и анализ результатов напряженно-деформированного состояния.

*Актуальность* – расчеты устойчивости системы имеют важное значение для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений в виде заанкеренного больверка с лицевой стенкой из трубошпунта. Правильное моделирование и анализ устойчивости позволяют предотвратить потенциальные аварийные ситуации и обеспечить долгосрочную надежность сооружений.

Проводится моделирование элементов системы с использованием программы PLAXIS 2D, включая задание геометрического контура модели, граничных условий, набора данных по материалам и внешним нагрузкам.

При задании начальных условий и в период строительства принят расчетный уровень воды минус 28,0 м (минимальный многолетний). При эксплуатации прогнозируется понижение уровня воды до минус 31,0 м, поэтому данный уровень воды используется при определении прочности и устойчивости сооружений.

Для грунтов использована модель идеального упругого-пластичного грунта с предельной поверхностью, описываемой критерием Мора-Кулона – модель MCX [1–3]. В общем случае данная модель требует задания следующих шести основных параметров: удельный вес  $\gamma$ , модуль деформации  $E$ , коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона)  $\nu$ , сцепление  $c$ , угол внутреннего трения  $\varphi$  и угол дилатансии  $\psi$ .

Для моделирования сопротивления грунта под нижним концом сваи при её работе на сжатие в программе PLAXIS используется элемент анкер с заземлённым концом (Fixed-end anchor) характеризующийся жёсткостью и шагом. Коэффициент жёсткости подошвы сваи, которая задаётся в виде анкера соответствующей жёсткости, определяется по формуле [4]:

$$C^* = \frac{C_0}{0,7} A,$$

где  $C_0$  – значение коэффициента постели на уровне подошвы сваи, численно равный коэффициенту постели  $C_z$ , рассчитываемому согласно формуле [4]:

$$C_z = kz^*;$$

$k$  – коэффициент пропорциональности упругих свойств грунта [4], кН/м<sup>4</sup>;  $z^*$  – расстояние от кровли грунтов естественного залегания до подошвы сваи, м.  $A$  – площадь сечения сваи по подошве, определяется из выражения

$$A = \frac{\pi D^2}{4},$$

где  $D$ , м – внешний диаметр сваи.

Нагрузки на расчётную модель сведены в таблицу 1.

Коэффициенты надёжности по нагрузке  $\gamma_f$ , грунту  $\gamma_g$  и материалу  $\gamma_m$  при расчёте напряженно-деформируемого состояния (НДС) и устойчивости принимаются по нормативным документам СП 58.13330.2012, пп. 8.17, 8.18; СП 22.13330.2016, п. 5.3.18; СП 23.13330.2011, пп. 5.9, 7.2; СП 39.13330.2012, п. 9.11; РД 31.31.55–93, пп. 4.6, 5.18 [5].

Расчеты аналогичных конструкций уже успешно выполнялись в Plaxis [6–8].



Таблица 1 – Нагрузки на расчетные модели

Обозначение	Вид и величина нагрузки	$\gamma_f^{1)}$
L1	Постоянные. Собственный вес элементов сооружения (см. п. 3)	1,0
L2	Временные, а) длительного действия. Эксплуатационная нагрузка от складированных грузов и технологического оборудования. Величина нормативной нагрузки на территории причалов составляет 40,0 кПа (см. п. 1.6)	1,2
L3	Временные, б) кратковременные. Швартовая (50 тс, см. п. 1.6) на одну тумбу, расположенную на секции длиной 14,736 м: Нормативная – $50 \cdot 9,81 / 14,736 = 33,3$ кН/м; расчетная – $33,3 \cdot 1,2$ кН/м = 40 кН/м	1,2
L4		1,2
L5		1,2
L6	Особые. Сейсмическая нагрузка уровня ПЗ на заанкеренный больверк или эстакаду с передней шпунтовой стенкой	1,0

<sup>1)</sup> Коэффициент надёжности по нагрузке при расчётах сооружений по первой группе предельных состояний, принимаемый согласно СП 58.13330.2012.

В расчетной схеме по разрезам (при наличии разгрузочной платформы за железобетонным оголовком заанкеренного больверка) равномерно-распределенная полезная нагрузка L2 прикладывается с отступом от линии кордона на ширину разгрузочной платформы.

Расчетные комбинации нагрузок представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные комбинации нагрузок

Комбинации нагрузок	Нагрузки и коэффициенты сочетания						Разрезы, для которых рассматривается комбинация нагрузок
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	
Основные сочетания							
LC1	1	1	–	–	–	–	1.1, 2.2, 3.3, 4.4
LC2	1	1	1	–	–	–	1.1, 2.2, 4.4
LC3	1	1	–	1	–	–	1.1, 2.2
LC4	1	1	–	–	1	–	1.1, 2.2, 4.4
Особые сочетания							
LC5	1	0,8	–	–	–	1	1.1, 2.2, 3.3, 4.4
LC6	1	0,8	1	–	–	1	1.1, 2.2, 4.4
LC7	1	0,8	–	1	–	1	1.1, 2.2
LC8	1	0,8	–	–	1	1	1.1, 2.2, 4.4

Нагрузка от расчетного сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64, соответствующего проектному землетрясению, при расчете в программе PLAXIS 2D задана инерционной силой, вычисленной при сейсмическом ускорении.

Для этого в программе используется специальный коэффициент K в долях от ускорения свободного падения g, являющийся множителем к горизонтальному ускорению, прикладываемому в основании расчетной схемы двух вариантах – по двум противоположным направлениям, которым соответствуют отрицательное и положительное значение величины K.

Расчёт устойчивости сооружения в программе PLAXIS 2D реализован путём понижения прочностных характеристик грунта. Этот тип расчёта называется Phi-c reduction (снижение  $\phi$  и  $c$ ). При использовании алгоритма Phi-c reduction параметры прочности грунта  $\tau_{gr}$  и  $c$  последовательно уменьшаются до тех пор, пока не произойдёт разрушение, таким образом, коэффициент надёжности представляет собой отношение имеющегося сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, необходимому для обеспечения равновесия.

Коэффициент устойчивости  $k_s$  определяется по формуле [5]:

$$k_s = \frac{R}{F} \geq \frac{\gamma_{lc} \gamma_n}{\gamma_c},$$

где коэффициенты  $\gamma_{lc}$  – коэффициент сочетаний нагрузок, принимаемый в соответствии с п. 8.16 СП 58.13330.2012 равным при расчётах по предельным состояниям первой группы для основного сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации равным 1,00; при расчётах на сейсмическое воздействие ПЗ – 0,95;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый для причальных сооружений  $\gamma_c = 1,0$  согласно таблице 7.1 СП 287.1325800.2016;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, принимаемый равным 1,15 для III класса ответственности.

В итоге минимальные коэффициенты запаса устойчивости  $k_s$  при расчёте в программе PLAXIS 2D принимаются равными значениям: для основного сочетания  $k_s = 1,00 \cdot 1,15 / 1,00 = 1,15$ ; для особого –  $k_s = 0,95 \cdot 1,15 / 1,00 = 1,09$ .

Результатами расчета устойчивости являются значения коэффициента устойчивости и визуализация механизма разрушения основания при потере устойчивости.

Наиболее опасный механизм разрушения для расчетных сечений приведен на рис. 1.

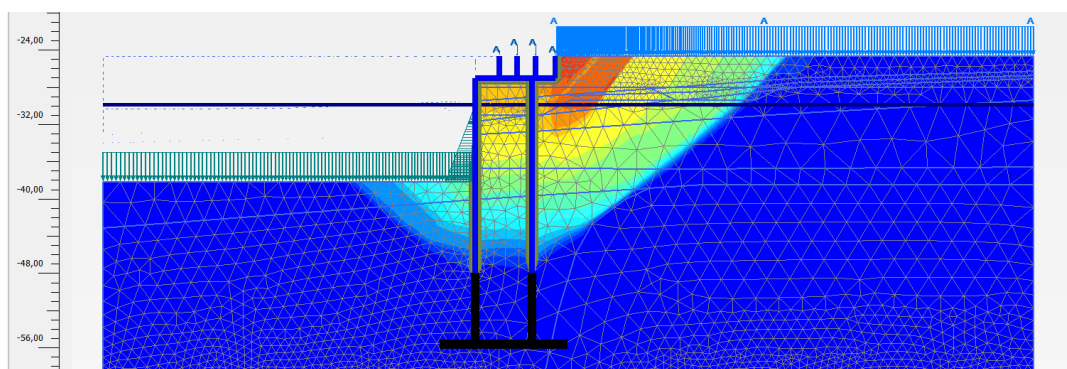


Рис. 1. Наиболее опасный механизм разрушения при особом сочетании нагрузок LC7. Коэффициент устойчивости равен 1,277

*Выводы.* Полученные значения коэффициентов устойчивости и перемещений не превышают соответствующей минимально допустимой величины. Следовательно, условие устойчивости для сечения выполняется.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бугров А.К., Нарбут Р.М., Сипидин В.П. Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л., 1987.
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М., 1987.
3. Brinkgreve R.B.J., Waterman D., Chesaru A., Bonnier P.G., Galavi V. PLAXIS 2D. Руководство пользователя, 2012.
4. РД 31.31.55-93. Департамент морского транспорта Минтранса РФ. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений.
5. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84\*, п. 9.11.
6. Карпова А.А. Расчет больверка в составе искусственного острова методом КЭ / А.А. Карпова, Ю.В. Стрябкова, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С. 61–62.
7. Бучнев И.Д. Расчет оградительных сооружений порта «Бухта Север» в программном комплексе PLAXIS 2D / И.Д. Бучнев, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С. 92–94.
8. Черкасова В.В. Реконструкция причального сооружения в порту Архангельска / В.В. Черкасова, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 75–77.

## РАСЧЕТ УСИЛИЙ В СВАЯХ РОСТВЕРКА

*Цель работы:* проведение расчёта усилий в сваях секции причала в программном комплексе Plaxis 2D и ручным графоаналитическим методом, и сравнение их результатов.

В качестве объекта рассматривается причальное сооружение, которое служит для швартовки расчетного судна, указанного в исходных данных. Причал, проектируемый для перегрузки негабаритного тяжеловесного оборудования, относится к III классу гидротехнических сооружений [1]. Конструктивный разрез причала представлен на рисунке 1.

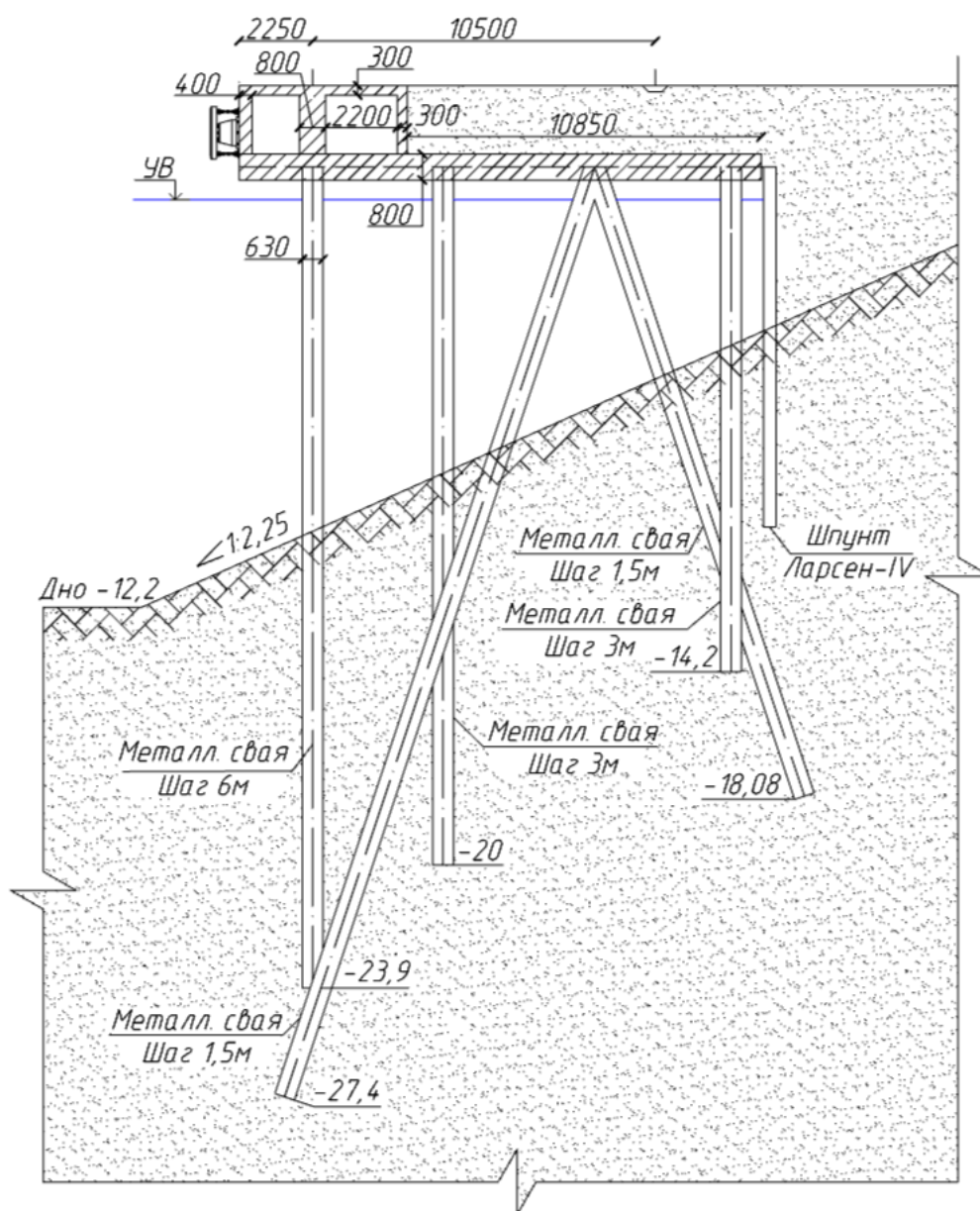


Рис. 1. Конструктивный разрез причала

Ростверк условно разрезается по опорам на отдельные балки со следующими нагрузками [2, 3]: постоянная от веса ж/б плиты ростверка; постоянная от веса ж/б перекрытия; постоянная от веса ж/б перегородок; постоянная от веса засыпки; суммарная нагрузка от крана; суммарная временная нагрузка.

После определяются опорные реакции балок и вертикальные нагрузки на свайные ряды при действии суммарной и постоянной нагрузок отдельно.

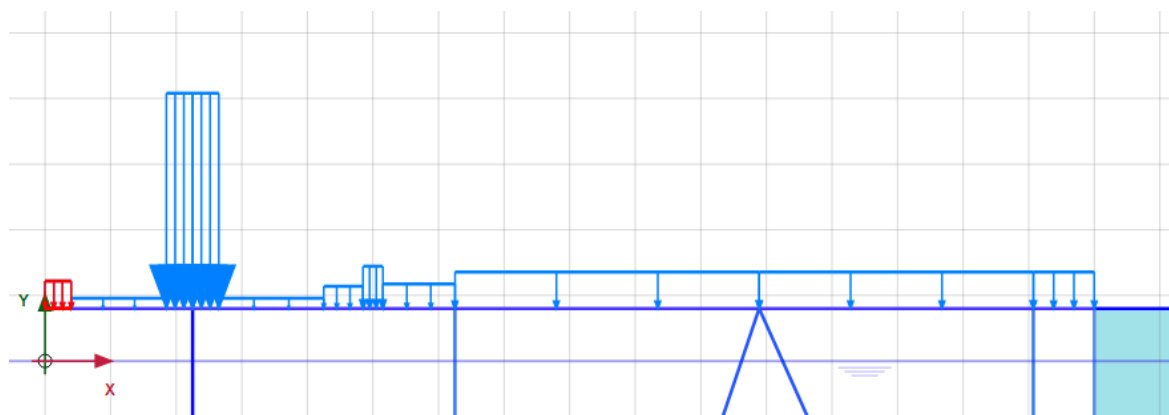


Рис. 2. Общий вид на схеме заданных нагрузок

Производится расчет набережной с задним ненесущим шпунтом на 1 п.м. сооружения в Plaxis 2D [4, 5].

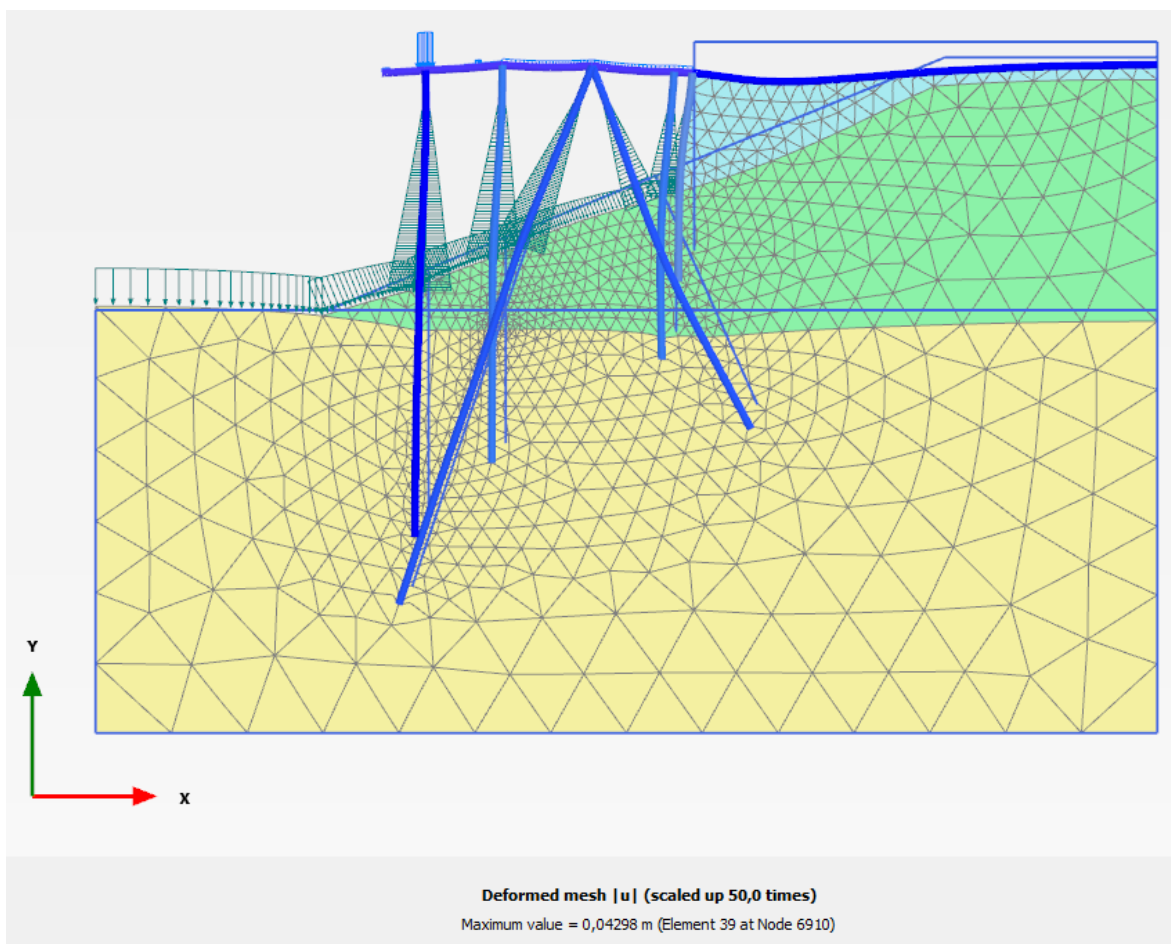


Рис. 3. Иллюстрация перемещений и деформаций слоев, полученных в программе Plaxis 2D

Ниже представлена сводная таблица результатов численного расчета в программном комплексе Plaxis 2D и графоаналитическим методом.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов

№	Шаг свай, м	Наименование	Plaxis 2D		Ручной метод	Несущая способность свай, кН
			кН на 1 п.м.	кН в 1 свае	кН в 1 свае	
1	6	Осевое усилие	467,2	2803,2	1582,31	2236,36
2	3		407,5	1222,5	1350,53	1912,4
3	1,5		381,4	572,1	2207,21	3138,8
4	1,5		314,6	471,9	1411,75	2045,6
5	3		228,7	686,1	1172,00	1703,8
Шпунт	Изгибающий момент		155,9 кНм		126,2 кНм	453,22 кНм (предельный)

#### *Выводы*

В работе был выполнен расчёт усилий в сваях нежёсткого ростверка двумя способами. Результаты, полученные в программном комплексе, отличаются от результатов, полученных в ходе ручного расчета причальной набережной с задним несущим шпунтом. Одной из причин такого расхождения возможно является отсутствие полных данных по геологии. При этом можно с уверенностью утверждать, что прочность шпунтовой стенки обеспечена.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 623) (ред. от 20.10.2016).
2. Беляев Н.Д., Миронов М.Е. Проектирование и строительство гидротехнических сооружений. Проектирование оградительных и причальных сооружений: учеб. пособие/ Н.Д. Беляев, М.Е. Миронов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 120 с.
3. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
4. Sharapov D.A., Gebre T.H., Ali Y.M. The effect of story drift in a multi-story building under the influence of an earthquake// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. Т.17. No 3. С. 270-227. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-3-270-277>.
5. PLAXIS. 2D, B.20.3.060 – Руководство пользователя.

**СЕКЦИЯ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

УДК 624.159.11

И.В. Ригель, В.В. Елистратов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРИВАЛОЧНУЮ ПЛОСКОСТЬ ФУНДАМЕНТА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

*Цель работы* – проанализировать динамическую нагрузку на привалочную плоскость фундамента ветроэнергетической установки (ВЭУ) при различных параметрах набегающего ветрового потока.

*Задачи работы:* 1) разработать структурную динамическую модель ВЭУ мощностью 100 кВт; 2) определить статические и динамические нагрузки на привалочную плоскость в режимах нормальной эксплуатации и парковки при экстремальном ветре; 3) оценить влияние параметров ветрового потока и режима работы ВЭУ на характер динамической нагрузки.

Динамические воздействия являются важным и, зачастую, определяющим фактором при проектировании фундаментов ВЭУ. Необходимость исключения резонанса в системе «ВЭУ-фундамент-основание», а также обеспечения усталостной прочности элементов и учета реологических свойств грунтов делают определение динамических нагрузок на привалочную плоскость фундамента ключевой задачей. Особую важность эта задача приобретает в случае размещения ВЭУ в арктической зоне на многолетнемерзлых грунтах, которые могут быть чувствительны к климатическим изменениям [1, 2] и динамическим нагрузкам [3].

Согласно [4] при определении расчетных нагрузок используется структурное динамическое моделирование. Такое моделирование может быть произведено на основе импульсно-лопастной теории расчета ветроколеса [5], реализованной в ПК QBlade [6].

Рассматриваемая ВЭУ мощностью 100 кВт спроектирована для условий ЯНАО и имеет параметры, приведенные в табл. 1. Лопасти имеют оптимизированную под номинальную быстроходность форму на основе профиля НАСА0024. Расчетная модель ВЭУ включает в себя аэродинамическую модель ветроколеса, конечно-элементные модели лопастей, гондолы, башни. В качестве граничного условия принято жесткое закрепление башни на привалочной плоскости фундамента. Общий вид расчетной схемы приведен на рис. 1.

Таблица 1 – Параметры ВЭУ

Скорости ветра, м/с:	
номинальная $V_r$	10
интервал рабочих скоростей $V_{in}-V_{out}$	2–25
буревая/расчетная $V_{ref}$	65
Ветроколесо (ВК):	
диаметр ВК, м / кол-во лопастей, шт.	22,4 / 3
длина, м / масса лопасти, кг	11 / 327,2
номинальная быстроходность	7
номинальная частота вращения, об/мин.	75
Масса гондолы с ветроколесом, кг	3080
Башня (коническая стальная):	
диаметр, м	2,1–0,45
толщина стенки, мм	12–5
высота, м / масса, кг	50 / 16 600

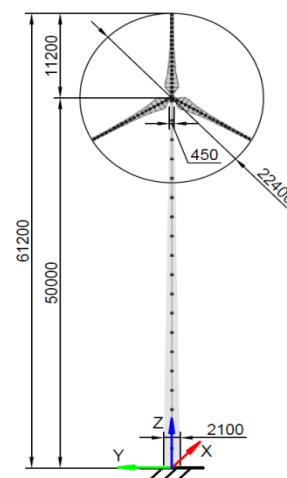


Рис. 1. Расчетная схема ВЭУ

Для анализа влияния параметров ветрового потока на динамическую нагрузку на привалочную плоскость фундамента рассмотрены 4 расчетных случая с различными средними скоростями ветра на высоте ступицы  $V_{hub}$  и параметрами турбулентности:

1. Режим нормальной эксплуатации при равномерном ветровом потоке  $V_{hub} = V_{out} = 25$  м/с, турбулентность отсутствует, скорость ветра не меняется с высотой;
2. Режим нормальной эксплуатации при нестационарном турбулентном ветровом потоке  $V_{hub} = V_{out} = 25$  м/с, нормальная модель турбулентности (NTM) с интенсивностью турбулентности  $I_{ref} = 16\%$ , нормальный профиль ветра (NWP);
3. Парковка при равномерном экстремальном ветровом потоке  $V_{hub} = V_{ref} = 65$  м/с, турбулентность отсутствует, скорость ветра не меняется с высотой;
4. Парковка при нестационарном турбулентном экстремальном ветровом потоке  $V_{hub} = V_{out} = 65$  м/с, модель экстремальной скорости ветра (EWM) [4].

Нестационарный турбулентный поток для расчетных случаев 2, 4 синтезировался на основе спектральной и экспоненциальной когерентной модели Каймала и степенного закона изменения скорости ветра по высоте [7]. Для случая 2 принят нормальный профиль ветра со степенным показателем  $\alpha = 0,2$ , для случая 4 – модель экстремальной скорости ветра со степенным показателем  $\alpha = 0,11$ . Среднеквадратичное отклонение скорости ветра  $\sigma_1$  в продольном направлении определяется уравнением (1) для нормальной модели турбулентности и уравнением (2) для модели экстремальной скорости ветра.

$$\sigma_1 = I_{ref}(0,75V_{hub} + 5,6); \quad (1)$$

$$\sigma_1 = 0,11V_{hub}. \quad (2)$$

Для каждого расчетного случая проведено моделирование на 10-минутном временном интервале, получены временные ряды составляющих сил и моментов для каждого расчетного случая. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

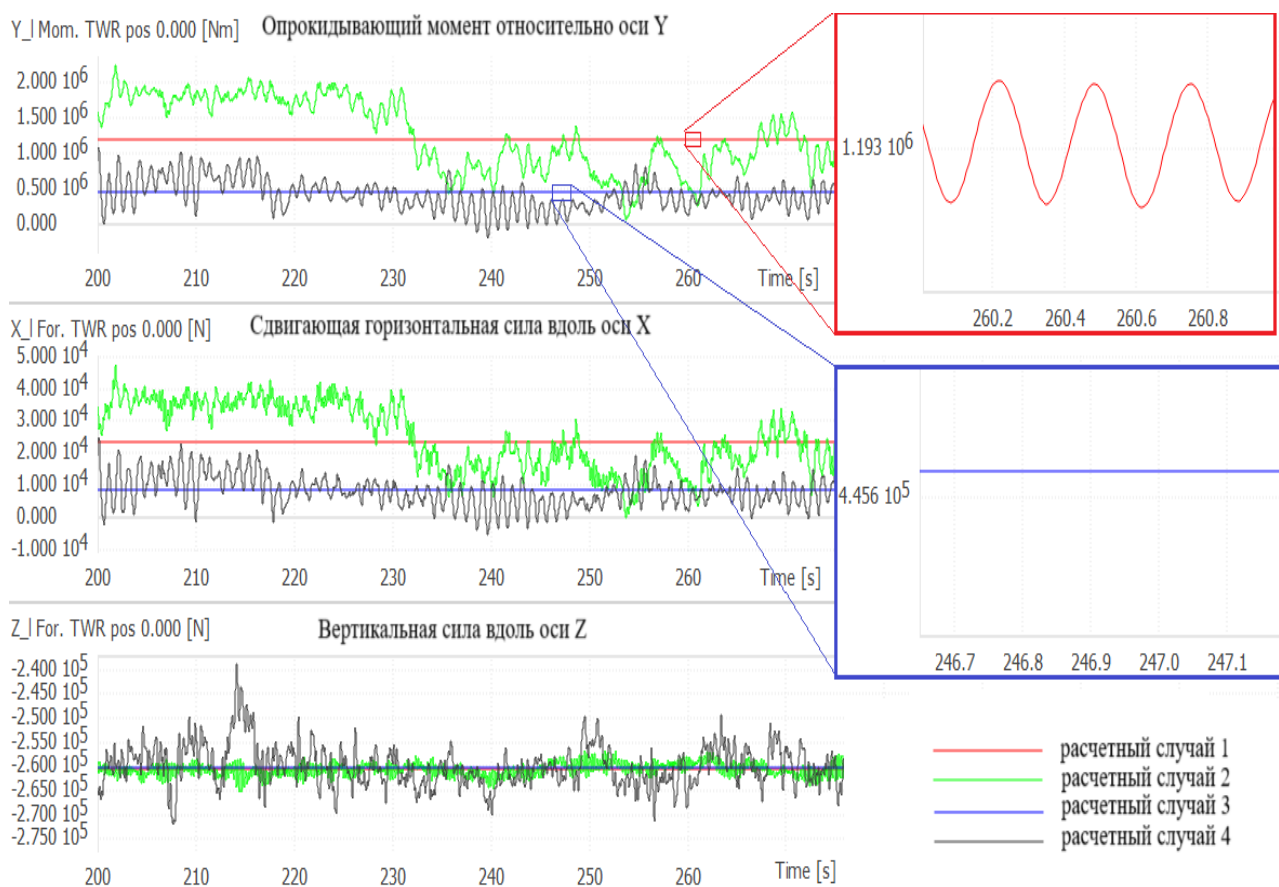


Рис. 2. Результаты моделирования на временном интервале 200–270 с

При равномерном ветре с максимальной рабочей скоростью статическая составляющая опрокидывающего момента составила 1193 кН·м, динамическая составляющая представляет собой гармонические колебания с лопастной частотой (3,75 Гц) и малой амплитудой  $\pm 0,085$  кН·м ( $\approx 0,007\%$  от среднего). При равномерном ветре в состоянии парковки ВЭУ нагрузка является полностью статической, опрокидывающий момент составляет 446 кН·м.

При турбулентном ветровом потоке нагрузки изменяются во времени стохастически по непериодическому закону. В рабочем режиме при турбулентном ветре опрокидывающий момент изменяется в диапазоне от -169 до 2242 кН·м, максимальная амплитуда достигает 1362 кН·м ( $\approx 114\%$  от среднего). В состоянии парковки при экстремальном турбулентном ветре опрокидывающий момент изменяется в диапазоне от -272 до 1260 кН·м, максимальная амплитуда достигает 814 кН·м ( $\approx 183\%$  от среднего).

#### *Выводы:*

1. Разработана расчетная модель ВЭУ, состоящая из аэродинамической модели ветроколеса на основе импульсно-лопастной теории и конечно-элементных моделей лопастей, гондолы, башни; сформированы расчетные случаи, определяющие особенности работы ВЭУ в режиме нормальной эксплуатации и состоянии парковки при экстремальной скорости ветра;
2. Для расчетных случаев в ПК QBlade проведено моделирование на 10-минутном интервале, получены временные ряды сил и моментов на привалочной плоскости фундамента;
3. Нагрузки при равномерном ветре являются статическими или изменяются по гармоническому закону с малой амплитудой и лопастной частотой (3,75 Гц), при учете турбулентности ветрового потока нагрузка изменяется стохастически, увеличиваясь и уменьшаясь более чем на 100% с наибольшим энергетическим вкладом в низкочастотной области спектра ( $< 1,00$  Гц);
4. Наиболее опасными среди расчетных случаев для рассматриваемой ВЭУ являются нагрузки на привалочную плоскость фундамента, возникающие в режиме нормальной эксплуатации при средней скорости ветра на высоте ступицы 25 м/с.
5. В связи с наличием многочастотной нагрузки с большими амплитудами под действием турбулентного ветрового потока необходим учет динамического поведения конструктивных материалов и реологических свойств грунта основания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Zheng M., Yang Zh., Yang Sh., Still Modeling and mitigation of excessive dynamic responses of wind turbines founded in warm permafrost, Engineering Structures, Vol.148, 2017. Pp. 36–46, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.037>.
2. Елистратов В.В., Ригель И.В. Исследование собственной частоты колебаний системы «Арктическая ВЭУ–фундамент–основание» при промерзании и оттаивании грунтов / В.В. Елистратов, И.В. Ригель / Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023.
3. Ригель И.В., Елистратов В.В. Оценка влияния динамических нагрузок на основание арктической ВЭУ / Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 200–203.
4. IEC 61400-1. Wind Turbines, Part 1: Design requirements / Third edition, 2005.
5. Елистратов В.В. Научно-техническое обоснование и проектирование энергокомплексов на основе ВИЭ для сложных природно-климатических условий / Электричество. №10, 2023. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2023-10-4-21>
6. QBlade Documentation / Документация к ПК QBlade [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.qblade.org/> (дата обращения: 01.03.2024).
7. Елистратов В.В., Ригель И.В. Конструктивные решения и методы проектирования фундаментов ветроэнергетических установок для условий Арктики / Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2024. Т.311. С. 43–56.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

*Цель работы* – произвести сравнительный анализ функциональных возможностей специализированного программного обеспечения для моделирования и расчёта гибридных энергокомплексов, использующих энергию возобновляемых источников и накопители энергии.

Современный энергетический сектор развивается в направлении Четвертого энергетического перехода, характеризуемого значительным увеличением установленной мощности объектов возобновляемой энергетики [1]. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся конкурентноспособными по сравнению традиционными энергоносителями, что особенно актуально в условиях изолированных энергосистем, ввиду высокой стоимости транспортировки топлива [2].

В то же время ВИЭ имеют ряд проблем, ограничивающих их использование: низкая удельная плотность энергии; территориальная и временная неравномерность прихода энергии; зависимость от природных факторов и случайно детерминированный характер [1].

Для достижения наиболее эффективного использования ресурсов ВИЭ выбор состава и параметров оборудования должен основываться на расчёте режимов работы энергокомплексов на этапе проектирования.

В современных условиях такие расчёты производятся при помощи специализированных программных комплексов, что позволяет значительно упростить и ускорить процесс проектирования. Среди зарубежных программных комплексов наиболее распространёнными являются «SAM» [3], «REopt» [4], «RETScreen» [5], «DER-VET» [6], «HOMER» [7], «XENDEE» [8]. Из отечественных программных комплексов следует выделить «VizProRES» [9], так как он является одним из немногих самостоятельных специализированных средств моделирования (в большинстве случаев отечественные программные комплексы предлагают только дополнительные модули для расчета систем электроснабжения с ВИЭ, которые обладают ограниченными функциональными возможностями).

Каждый программный комплекс характеризуется набором функциональных возможностей (библиотека источников, накопителей и потребителей энергии, возможность расчета и анализа различных режимов работы и т. д.) и прочими свойствами (наличие платной подписки, открытого исходного кода и т. д.). Сравнение программных комплексов сведено в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик программных комплексов

Программный комплекс	SAM	REopt	RETScreen	DER-VET	HOMER	XENDEE	VizProRES
Наличие платной подписки	-	-	+	-	+	+	-
Открытый исходный код	+	+	+	+	-	-	+
Возможность экспорта результатов (Excel, CSV и т.д.)	+	-	-	+	+	+	+
Веб-приложение	-	+	-	-	-	+	-

Сравнение функциональных возможностей программных комплексов сведено в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнение функциональных возможностей программных комплексов

Программный комплекс	SAM	REopt	RETScreen	DER-VET	HOMER	XENDEE	VizProRES
Источник энергии							
Солнечная электростанция	+	+	+	+	+	+	+
Ветроэлектростанции	+	+	+	+	+	+	+
Гидроэлектростанция	-	-	+	-	+	+	+
Приливная электростанция	+	-	+	-	+	+	-
Теплоэлектростанция на биотопливе	+	-	+	-	+	+	-
Топливный элемент	+	-	+	-	+	+	-
Дизель-генератор	+	+	+	+	+	+	+
Энергосистема (централизованная)	+	+	+	+	+	+	+
Солнечный коллектор (тепловая энергия)	+	-	+	-	-	+	-
Геотермальная электростанция (тепловая энергия)	+	-	+	-	+	+	-
Когенерация (электрическая и тепловая энергии)	+	+	+	+	+	+	-
Накопитель							
Аккумуляторная батарея	+	+	+	+	+	+	+
Проточная батарея	+	-	-	-	+	+	-
Гидроаккумулирующая электростанция	-	-	-	-	+	-	-
Маховик	-	-	-	-	+	-	-
Накопитель водорода	-	-	-	-	-	+	-
Накопитель тепловой энергии	+	-	+	-	-	+	-
Анализ энергокомплексов							
Моделирование режимов работы и расчет параметров	+	+	+	+	+	+	+
Расчет установившихся режимов работы	+	+	+	+	+	+	+
Динамический расчет	+	-	+	+	+	+	+
P50/P90 анализ	+	-	-	-	-	+	-
Расчёт устойчивости	-	+	-	+	+	+	-
Расчёт надежности	-	-	-	+	+	+	-
Управление спросом / Срезание пиков нагрузки	-	-	-	+	+	+	-
Оптимизация состава и параметров оборудования	-	+	-	+	+	+	+
Экологический анализ	-	+	+	-	+	+	-
Экономический анализ (CAPEX, LCOE, DPP и т.д.)	+	+	+	+	+	+	+

Среди рассмотренных программных комплексов наиболее полным набором функциональных возможностей обладают «HOMER» и «XENDEE», но для их использования необходимо наличие платной подписки или студенческой лицензии (с ограниченным набором функциональных возможностей).

Из бесплатных программных комплексов наиболее широкий аналитический функционал предоставляет «DER-VET», но он обладает ограниченной библиотекой источников и накопителей энергии. Программные комплексы «SAM», «REopt» и «VizProRES» являются более узконаправленными.

На основе выполненного анализа, в рамках диссертационного исследования предлагается использовать программный комплекс «XENDEE», так как помимо работы с электрической частью, он предоставляет возможность моделирования процессов электролизного производства водорода, его накопления и преобразования в электроэнергию. Подробный набор функциональных возможностей программного комплекса «XENDEE» представлен на рис. 1 в виде диаграммы Санки.

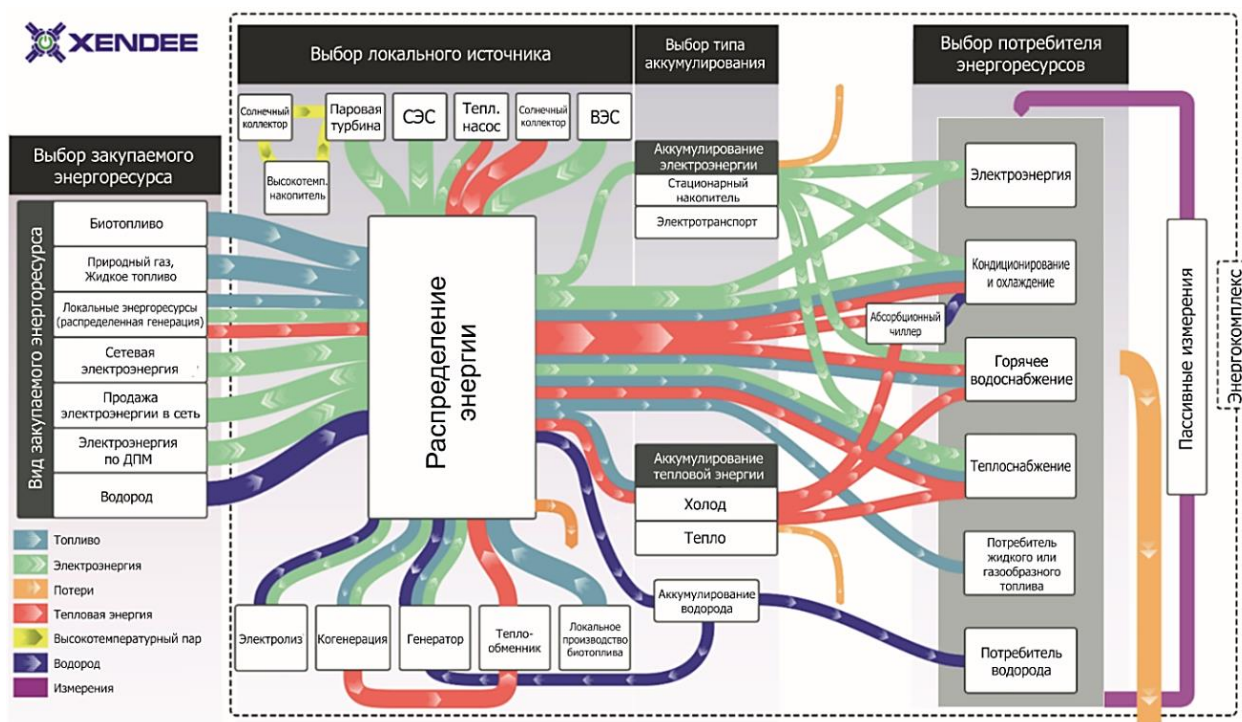


Рис. 1. Диаграмма Санки функциональных возможностей программы «XENDEE»

#### Выводы:

1. В работе проведен сравнительный анализ специализированного ПО для моделирования и расчёта параметров гибридных энергокомплексов, использующих энергию возобновляемых источников и накопители энергии.

2. Для проведения комплексного анализа систем электроснабжения на основе ВИЭ возможно использование нескольких программных средств, но в таком случае отсутствует возможность обмена данными между программами напрямую, что требует создания дополнительного интерфейса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Терехов Е.Ю. Использование водорода в решении проблем современной энергетики / Е.Ю. Терехов, В.В. Елистратов / Неделя науки ИСИ: сб. мат-лов Всероссийской конф. В 3 ч. Ч. 1. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 271–273.
2. Елистратов В.В., Денисов Р.С. Развитие изолированных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водородного аккумулирования. Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2023, №1(406), С. 12–22.
3. System Advisor Model [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sam.nrel.gov/> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
4. REopt: Renewable Energy Integration & Optimization [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://reopt.nrel.gov/tool> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
5. RETScreen [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
6. Distributed Energy Resource Value Estimation Tool [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.der-vet.com/> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
7. HOMER Software [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://homerenergy.com/> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
8. XENDEE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xendee.com/> (дата обращения: 04.03.2024 г.).
9. Денисов К.С. Разработка отечественной программы ЭВМ «Vizprores 2017» для внедрения возобновляемых источников энергии / К.С. Денисов, В.И. Велькин / Сб. докладов XII Междунар. конф. «Российские регионы в фокусе перемен». Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2018. Ч. 2. С. 439–449.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ  
ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ КОЛЬСКОЙ ВЭС

*Цель работы* – изучить влияние подключения Кольской ВЭС в энергосистему Мурманской области.

Для достижения поставленной цели были проанализированы структура энергосистемы Мурманской области на длительном промежутке времени.

На территории Мурманской области действуют следующие основные энергетические компании: филиалы АО «Концерн Росэнергоатом», ПАО «ТГК-1», а также АО «Мурманская ТЭЦ». Установленная мощность электростанций Мурманской области на начало 2024 г. составила 3837,4 МВт [1]. Карта распределения объектов генерации по территории Мурманской области показана на рис. 1

Структура выработки электростанций Мурманской области зависит от водности рек, чтобы минимизировать холостые сбросы и максимально использовать водные ресурсы. АЭС составляют 55-60% выработки, ГЭС – 35–41%, ТЭЦ и ВЭС по 3% каждая (рис. 2) [2–4]. Кольская АЭС имеет сезонную характеристику из-за ограничения перетока по «Кола-Карельскому» транзиту. ГЭС вырабатывают больше во время половодья, ТЭЦ имеют сезонный характер работы. Кольская ВЭС также подвержена сезонной изменчивости. Мурманская область энергоизбыточный регион, в связи с этим количество выработанной электроэнергии зависит от потребления и максимального перетока в энергосистему Республики Карелии (табл. 1) [2–4].



Рис. 1. Карта распределения объектов генерации

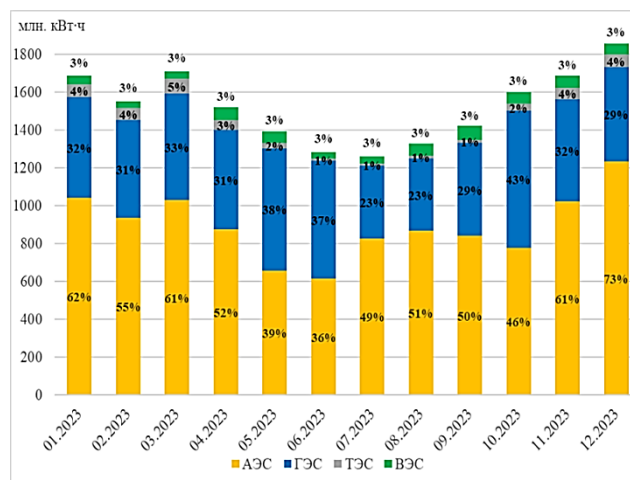


Рис. 2. Помесячная структура генерации

Таблица 1 – Баланс электроэнергии Мурманской области, млн кВт·ч

Год	Генерация	Потребление	Переток в Карелию
2021	16 606	11 973	3 772
2022	18 234	11 998	5 767
2023	18 185	11 843	5 936

На территории энергосистемы Мурманской области прогнозируется рост потребления электроэнергии с 2023 по 2029 гг. на 28% [1]. Данный рост связан с вводом новых

промышленных потребителей, основным из которых является завод по производству сжиженного природного газа «ООО «НОВАТЭК-Мурманск» [1]. Он будет покрыт избытком выработанной электроэнергии и запертой мощностью Кольской АЭС.

В 2022 г. компанией ПАО «ЭЛ-5 Энерго» была введена в эксплуатацию Кольская ВЭС (рис. 3). Данная ветровая электростанция оснащена 57 ветроустановками G 132, мощностью 3,55 МВт каждая. Высота башни – 84 м, диаметр ветроколеса – 132 м. Ввод первой очереди происходил в декабре 2022 года (введено 84% проектной мощности), а второй – в марте 2023 года (введено 100%) [1, 3]. Станция составляет 5,27% от общей установленной мощности области и связана с энергосистемой через линию 150 кВт через подстанцию «Мурманская».

ВЭС работает на оптовом рынке электроэнергии, но имеет ограничения на выдачу мощности от центральной системы автоматического регулирования частоты и перетоков мощности ЕЭС. В связи с этим в 2023 году было выработано на 22,5% меньше, чем запланировано [1]. Данное положение может быть исправлено в ближайшие 5 лет при подключении дополнительных потребителей в Кольской энергосистеме. Коэффициент использования установленной мощности составил 28% в 2023 г.

Станция не сильно повлияла на энергетический баланс области, её выработка составляет около 4% от общей выработки региона. Существует разница между максимальным и минимальным значением графика выработки в различные периоды года, которые показаны на рис. 4. Можно отметить, что в летний период выработка значительно падает, что связано со снижением скорости ветра в данный период [5].



Рис. 3. Кольская ВЭС

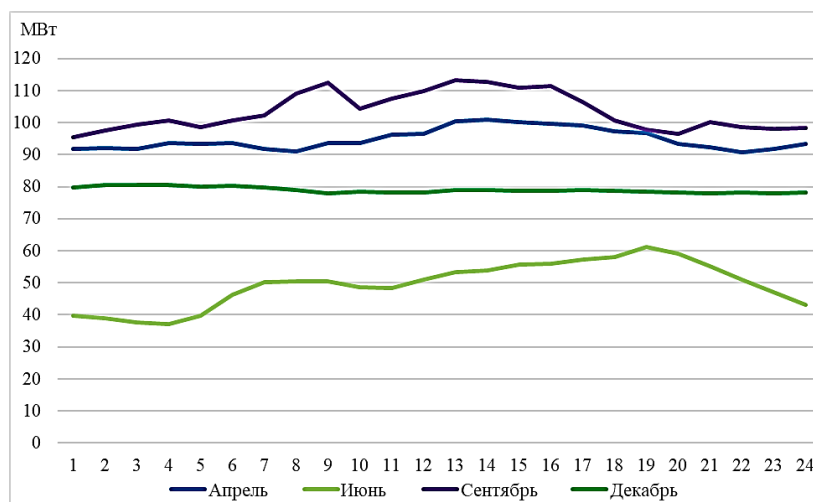


Рис. 4. Суточный график генерации Кольской ВЭС по сезонам года

При внедрении станции произошло увеличение нулевых значений индекса балансирующего рынка (ИБР) [4]. Значение ИБР – это цена, которая формируется в час поставки электроэнергии в зависимости от величины спроса и предложения. Нулевые значения ИБР показывают, что выработанная в Мурманской области электроэнергия не может перетекать в Республику Карелию и происходит разгрузка электрических станций Мурманской области. С января 2020 г. по декабрь 2022 г. среднее количество нулевых значений составляло 80 часов за месяц. После ввода ВЭС среднее значение нулевых часов стало 230 часов в месяц. С июня 2023 г. ситуация стабилизировалась и немного улучшилась (до конца 2023 г. среднее значение нулевого значения составляло 72 часа в месяц) за счёт снижения выработки ВЭС и улучшения планирования Кольским РДУ.

В перспективе оптимизация управления, продолжение инвестиций в инфраструктуру возобновляемой энергетики и технологические инновации может быть необходимо для удовлетворения растущего спроса на энергию в регионе. Успешная интеграция ветропарка

создает прецедент для будущих проектов возобновляемой энергии в Мурманской области и в других северных регионах.

*Выводы:* 1. Проанализирована структура энергосистемы Мурманской области и выявлено преобладание АЭС и ВЭС генерации в регионе. Высокая энергоизбыточность региона позволяет подключить новых потребителей без необходимости увеличения генерирующих мощностей. 2. В начальный период работы ВЭС существовали трудности, связанные с оптимизацией работы ветропарка и его интеграцией в энергетическую сеть. Данная ситуация была отчетливо видна на количестве нулевых значений ИБР в первые месяцы после пуска Кольской ВЭС; проблема была решена путем сезонного снижения выработки ветроэлектростанции и оптимизации работы Кольского РДУ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Официальный интернет-портал. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.so-ups.ru>
2. Официальный интернет-портал Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Мурманской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minenergo.gov-murman.ru/documents/npa/tek/reg/>
3. Официальный интернет-портал. Администратор торговой системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.atsenergo.ru>
4. Официальный интернет-портал. Оптовый рынок электроэнергии и мощности [Электронный ресурс]: Карта БР – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://br.so-ups.ru>
5. Елистратов В.В., Кудряшева И.Г. Режимы работы установок и энергокомплексов на основе возобновляемых видов энергии. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021.

UDC 621.311.25

Edgar Fabian Coy Perez, V.V. Elistratov  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

#### CFD ANALYSIS OF THE WIND DISTRIBUTION AROUND A BUILDING IN THE CITY OF TUNJA

The criteria that should be taken into consideration as the main basis for the present study include building information, energy efficiency and wind speed characteristics [1, 2].

Wind speed feasibility studies were carried out in different parts of the city. The University of Santo Tomas area revealed an average wind speed of 2.64 m/s [3], in the high area near Soraca City, the average recorded speed was found to be 6.7035 m/s [4], in the Centro Intercomunitario Arquidiocesano indicated that about 83.92% corresponded to winds above 2.5 m/s [5]. In addition, the computational fluid dynamics simulation model is based on standard k-e methods that are widely used in the prediction of various types of turbulent flows, independent of compressibility factors, such as those affecting urban environments, like turbulent kinetic energy, coefficient of friction, etc. [6], particularly useful in low wind criteria, where they tend to accurately approximate experimental results obtained from wind tunnel tests [7]. Taking into account these parameters, including typical parameters such as prevailing wind direction, with speeds ranging from ~3-6 m/s, combined Computational Flow Dynamic (CFD) and geometric analyses allows the identification of the zones characterized by the highest wind speed.

A real view of the study building is shown in fig. 1 and the Building Information Model in fig. 2, it is located in the Tunja city specifically at the coordinates, 5°31'54.4"N 73°21'42.0"W. The building is used by multiple public and private entities, divided on each level of the building. The 3D model with the building data is stored in an .ifc file for the purpose of linking the configuration to the CFD model.



Fig. 1



Fig. 2

From the data provided by the IDEAM weather station in the study area, fig. 3-4 show a frequency distribution plot of wind speed and wind direction distribution for the period 1979-2013 that was obtained from 180,428 data points. Studies using the Weibull distribution indicated an approximate wind speed of 3.6 m/s at the height of about 10 m, based on the data collected.

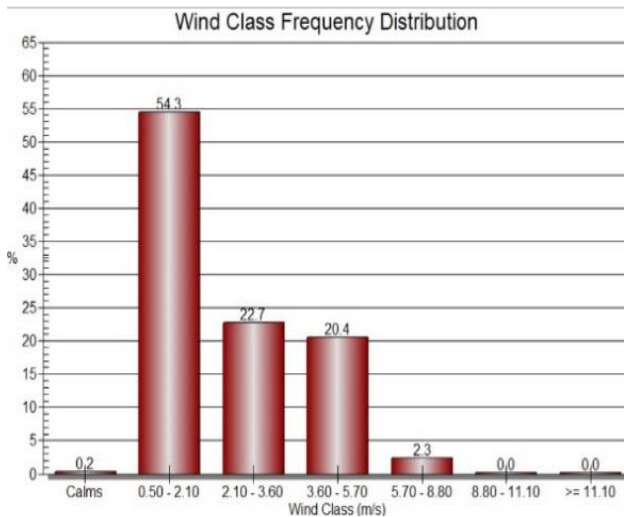


Fig. 3

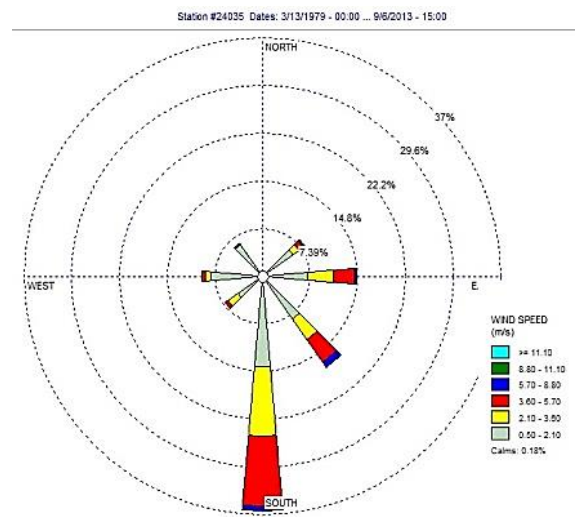


Fig. 4

$$V = V_B \left( \frac{Z - Z_0}{Z_B - Z_0} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$$k = (SV)^2 \quad (2) \quad \varepsilon = \frac{\sqrt{C_t} S^2 V^3}{n(Z - Z_0)} \quad (3)$$

$$S(Z) = 0.1 \left( \frac{Z - Z_0}{Z_G} \right)^{-\left(\frac{1}{n} + 0.05\right)} \quad (4)$$

The formulas describe variables where, ground elevation  $Z_0$ , reference height  $Z_B$ , velocity at reference height  $V_B$  and the inverse of the power exponent  $n$ , flow velocity  $V$  at height  $Z$ , turbulent kinetic energy  $k$ , turbulent dissipation rate  $\varepsilon$ , turbulence intensity  $S$ , and the turbulence model constant  $C_t$ .

For regions where buildings are close together, the value of the inverse of power exponent  $n$  is 5, the specific value of  $Z_G$  is determined based on the selected roughness category; in this case, it is set at 450 for the studio.

The numerical domain for the current configuration is defined with the tower height  $H$  of 39.30 m as the base unit for all distances. The dimensions span  $10H \times 15H \times 5H$  along the  $x$ ,  $y$  and  $z$  axes, assumes constant physical parameters and neglects temperature gradient effects in the study area.

Describing the magnitude of wind speed and wind pressure on the surface, shows the flow patterns within a cross-section of the model, including the contours of the highest velocity magnitude due to the wind speed of 5.1 m/s from the South-North direction at the height of 40 m (fig. 5). The maximum pressure generated by this velocity magnitude at the surface is measured to be 20 Pa.

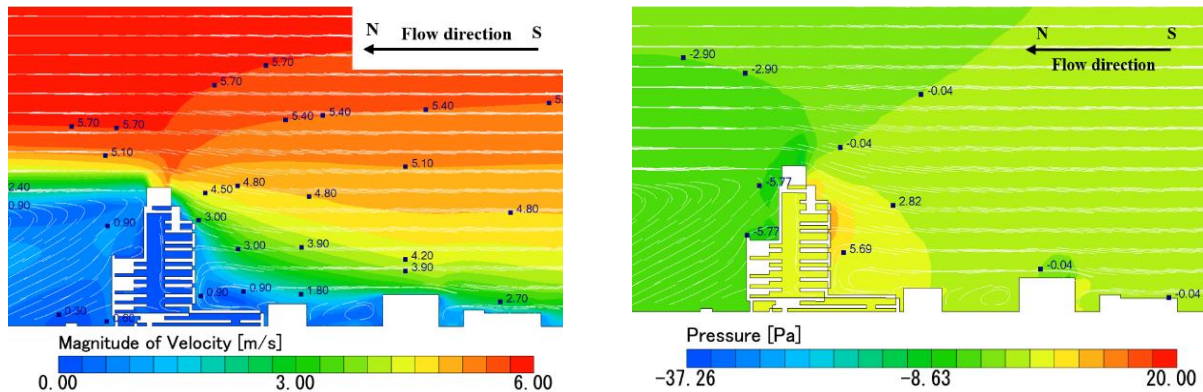


Fig. 5

In conclusion, this simulation demonstrates the feasibility of deploying wind turbines on a building. However, to enhance accuracy, it is suggested to conduct simulations in multiple directions and consider dynamic modeling methods when assessing options for personal wind energy utilization.

#### REFERENCES:

1. Rezaeiha A., Montazeri H., and Blocken B. A Framework for Preliminary Large-Scale Urban Wind Energy Potential Assessment: Roof-Mounted Wind Turbines, *Energy conversion*, vol. 214, p. 112770, 2020.
2. Elistratov V.V. and Krasnozhen S.E. Application of the Principles of Solar Architecture in Civil Engineering for Improving the Energy Efficiency of Buildings. *Applied Solar Energy*, 2023, Vol. 59, No. 5, pp. 753–760
3. Alvarez W.F., Martínez L.A., Catalina A., and Fajardo A. Aplicación de la Ecuación de Weibull para Determinar Potencial Eólico en Tunja-Colombia.
4. Castañeda W.F.A. Assessment of the Potential of the Wind Energy in The Soraca Hill-Tunja, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2014, vol. 2, no. 1692-7257, pp. 90–92.
5. Castañeda W.F.A. Numerical Study of Wind Energy Potential in Tunja, Colombia, *Universidad Libre de Colombia*, 2013, accessed: dec. 18, 2023.
6. Hnaien N. et Al., CFD Analysis of Wind Distribution Around Buildings in Low-Density Urban Community, *mathematics*, vol. 10, no. 7, 2022.
7. Xiong M., Chen B., Zhang H., and Qian Y. Study on Accuracy of CFD Simulations of Wind Environment Around High-Rise Buildings: A Comparative Study of  $k-\varepsilon$  Turbulence Models Based on Polyhedral Meshes and Wind Tunnel Experiments, *applied sciences*, vol. 12, no. 14, 2022.



## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Цель работы* – разработать структуру методики проектирования ветродизельных электростанций (ВДЭС) для северных и арктических регионов РФ с применением геоинформационных систем.

Решаемые в работе задачи: 1) определение актуальности методики, в том числе в рамках существующего энергоснабжения северных и удаленных регионов РФ, проведение анализа функционирования ветроэлектрических установок и потенциального рынка ВДЭС в условиях севера; 2) формирование и разработка структуры методики проектирования ВДЭС для северных и арктических регионов РФ, определение необходимых параметров для проектирования и создания ВДЭС в северных условиях с помощью ИГИС (интеллектуальная геоинформационная система); 3) определение основных параметров, влияющих на показатели работы ВДЭС в северных, арктических и удаленных регионах РФ.

На данный момент в РФ особое внимание уделено энергетическому сектору. В 2023 г. объем мощности ВИЭ достиг 6,12 ГВт (2,4% от общей мощности ЭС). Согласно данным Минэнерго, в период за 2024–2029 гг. планируется ввести в эксплуатацию энергокомплексы на основе ВИЭ суммарной мощностью 5 тыс. МВт·ч. На сегодняшний момент, важной задачей энергетического развития северных и арктических территорий (порядка 65% территории РФ), является обеспечение надежного, бесперебойного и эффективного энергоснабжения, которое, согласно проведенному анализу, в данных регионах осуществляется преимущественно ДЭС (более 90% децентрализованных территорий, более 600 ДЭС, установленная суммарная мощность более 700 МВт, выработка электрической энергии генерирующими объектами составляет около 1160 МВт·ч/год). Необходимость в модернизации систем энергоснабжения подтверждается Указом Президента РФ от 26 октября 2020 года №645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [1–4].

Согласно анализу энергоснабжения северных и арктических территорий РФ, на данный момент функционируют 13 ВДЭС (в состав которых входят 54 ВЭУ, суммарная установленная мощность ВЭС 10МВт), в том числе спроектированная и введенная в эксплуатацию при участии НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» СПбПУ ВДЭС в п. Амдерма, Ненецкого автономного округа (мощность ДЭС – 1360 кВт, ВЭС – 200 кВт). Целесообразность проектирования ВДЭС обусловлена местными условиями – высоким ветроэнергетическими ресурсами:  $6,2 \times 10^{15}$  кВт·ч/год. Использование данных ВДЭС позволяет решить основные проблемы северных зон: повысить надёжность энергоснабжения, сократить завоз топлива, снизить себестоимость электроэнергии у конечного потребителя, повысить экологическую безопасность. На основании изученных данных установлено, что потенциальный рынок ВДЭС с ВЭУ 50–100 кВт в северных регионах составляет до 4700 модулей для регионов со средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м [1–3].

Методика проектирования ВДЭС для северных регионов РФ с применением ГИС необходима для основного документа проектирования ВДЭС – ТЭО. Новизна методики заключается в использовании ГИС для ускорения и наглядности сравнительного анализа, а следовательно, ускорения внедрения и повышения качества ТЭО и проектирования в труднодоступных северных регионах. Сравнительный анализ встречается на всех этапах ТЭО.

Структура методики проектирования ВДЭС в северных регионах должна включать в себя четыре основных раздела, зависящих друг от друга, в рамках создания ТЭО проекта: материалы инженерных изысканий; обоснование выбора места ВДЭС; обоснование установленной мощности ВДЭС, определение и выбор параметров и оборудования ВДЭС; экономическое обоснование (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень основных параметров для проектирования ВДЭС в северных регионах

Раз-делы	Параметры
Инженерные изыскания	Инженерно-геодезические изыскания (топографо-геодезические материалы; рельеф; категория земель; населенные пункты, сооружения; метеовышки; дорожная инфраструктура (порты, аэродромы, Ж/Д, зимники и т.д.); высотные отметки; энергетические объекты; существующие сети (ЛЭП и др.); промышленные объекты и т.д.)
	Инженерно-геологические изыскания (геологическое строение; сейсмичность; состав и свойства грунтов (при многолетнемерзлых грунтах необходимо учитывать возможные изменения свойств пород оснований и материалов сооружений из-за их перехода из мерзлого в талое состояние и наоборот, а также изменения в процессе оттаивания основания)
	Инженерно-гидрометеорологические изыскания (климатические условия, ВЭР, осадки и др.)
Место строительства	Площадка не должна быть на территории: архитектурных памятников, заповедников, особо-охраняемых зон, мест гнездования и кормления птиц и животных, путей их миграции и т.д.
	ЗУ должны удовлетворять требованиям для строительства промышленных предприятий
	Схема электроснабжения
	Размещение ВЭУ на площадке должен быть выполнен с учетом розы скоростей ветра, розы энергии ветра, эффекта затенения
	Должны быть учтены логистические особенности регионов (например, сезон навигации).
Оборудование, параметры ВДЭС	Оборудование и конструкция ВЭУ должны обеспечивать заданные режимы эксплуатации под воздействием ветровых нагрузок, климатических особенностей
	При выборе ВЭУ учитываются: нагрузки (аэродинамические, эксплуатационные, прочие, такие как ледовые, при монтаже и т.д.; требования надежности, энергоэффективности и ресурсосбережения, безопасности к конструкции; топографическая сложность площадки, параметры ВЭР и факторы окружающей среды (экстремальные температурные диапазоны, обледенение и т.д.); сеть подключения; инженерные изыскания и т.д.
	График нагрузки (энергопотребление)
	Необходимо заложить компенсационные мероприятия, если ВДЭС будет в северных, для уменьшения потерь в выработке (пассивные и активные)
Эконо-мика	Показатели эффективности (ЧДД -> max, ИД>1 и т.д.)
	Должна быть проведена оценка общественной эффективности капвложений в сравнении с иными способами покрытия спроса

ГИС представляет пространство, с загруженными через атрибуты программного комплекса данными для построения информационных карт. Исходными материалами для создания слоев являются: картографические, топографические, аэрофотосъемочные материалы и космические съемки. ГИС ориентирована на использование информации, содержащейся в заложенных в неё базах данных, структурирование информации и интерпретирование ее в слои (рис. 1). Сформирована база первичных источников локальных и глобальных геоинформационных данных, а также, на основании параметров из табл. 1 определены необходимые слои ГИС для создания ВДЭС [1].

Проведен анализ существующих ГИС в области ВИЭ, согласно которому: в мире насчитывается более десятка ГИС, обеспечивающие доступ к национальным и глобальным данным о возобновляемых источниках энергии и энергетической инфраструктуре, среди которых определены две наиболее функциональные и современные системы, построенные на платформе Global Atlas (Global Wind Atlas и Global Solar Atlas) Датского Технологического

Университета. Методология создания GWA описана в [5]. Данные ГИС выбраны в качестве прообраза разрабатываемой ИГИС.

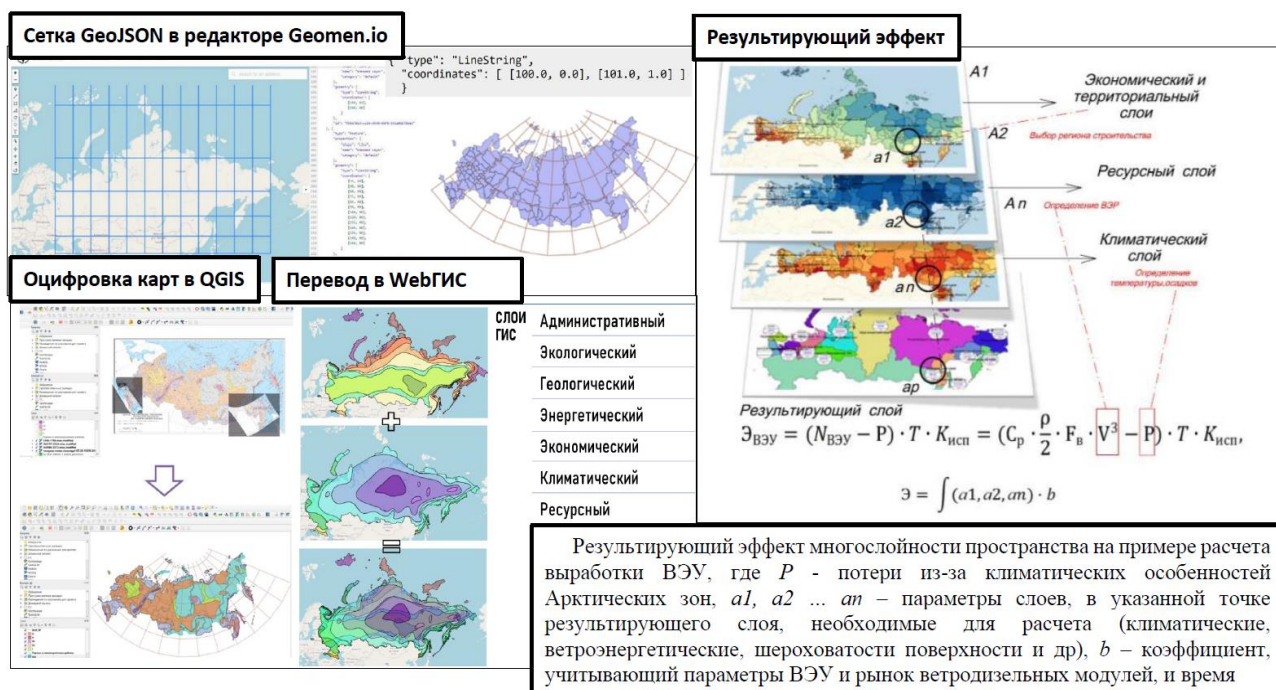


Рис. 1. Этапы создания ГИС для проектирования ВДЭС в северных регионах в рамках методологии

**Выводы:** 1. Проведен анализ ВЭУ и потенциального рынка ВДЭС в условиях севера. 2. Обоснована актуальность создания методики проектирования ВДЭС в северных регионах с использованием ИГИС, которая значительно ускорит реализацию энергетических проектов в зоне труднодоступных территорий с автономном энергоснабжением за счет оперативного и полного представление геоинформационных данных, представленных в виде слоев. 3. Описаны необходимые параметры (см. табл. 1), которые должны быть отражены на слоях ГИС, созданной в ПК QGIS, в рамках методики проектирования ВДЭС в северных регионах. 4. Проведен анализ реализованных ГИС в области ВИЭ. 5. Сформирована база первичных источников для оцифровки карт в QGIS.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Елистратов В.В, Конищев М, А., Касина В.И., Богун И.В. Использование ГИС-технологий при проектировании ВДЭС в северных условиях. «С.О.К.» (Сантехника, Отопление, Кондиционирование) №10 (238), 2021
2. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Development of a Geoinformation System for the Design of Wind Power Facilities in the Russian Arctic Conditions. 4th International Scientific Conference "Arctic: History and Modernity". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 302 (1), 2019, 12064 DOI:10.1088/1755-1315/302/1/012064
3. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Optimization of wind-diesel power plants parameters and placement for power supply of Russia's northern regions consumers. Proc. of the 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA 2019). June 6–8, 2019. Varna, Bulgaria
4. Гулиев И.А.О. ТЭК России: итоги года 2023 и ожидания 2024– [Электронный ресурс] URL: [https://mgimo.ru/about/news/experts/tek-rossii-2023/?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://mgimo.ru/about/news/experts/tek-rossii-2023/?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru) (дата обращения: 10.03.2024)
5. Global Wind Atlas – [Электронный ресурс] URL: <https://globalwindatlas.info/ru/about/method> (дата обращения: 10.03.2024)

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ АФГАНИСТАНА

*Цель работы:* оценка состояния и перспективы развития гидроэнергетики Афганистана на основе тематического исследования с использованием метода сравнительного анализа. *Задачи,* которые необходимо решить в работе: дать оценку состоянию энергетики и гидроэнергетики Афганистана и проанализировать стабильность и надежность динамики обеспечения и производства электроэнергией в стране.

Устойчивая энергетика имеет важное значение для экономического и социального развития Афганистана. По сравнению с другими возобновляемыми ресурсами гидроэнергетика вносит большой вклад в мировое производство электроэнергии [1] и является основным источником электроэнергии во многих странах мира. Гидроэнергетика Афганистана является нестабильной и почти полностью зависит от соседних стран как Таджикистан, Узбекистан, Иран и Туркменистан.

Афганистан располагает значительными устойчивыми возобновляемыми источниками энергии и имеет энергетические ресурсы с высоким потенциалом. Эти ресурсы распределены по стране, в отличие от ее традиционных энергетических ресурсов, которые сосредоточены в определенных местах.

Афганистан имеет около 318 ГВт потенциальных ресурсов возобновляемых источников энергии, в том числе гидроэнергетика (23 ГВт), ветровая энергия (67 ГВт), солнечная энергия (222 ГВт), геотермальная (3,0–3,5 ГВт), и биомасса (4 ГВт) [2]. В 1935 г. правительство Афганистана разработало стратегический план и нормативно-правовую базу для инвестиций в гидроэнергетику. В результате были построены следующие электростанции, показанные в табл. 1 [3].

Таблица 1 – Список ГЭС, построенных согласно стратегическому плану в Афганистане

№ п/п	Название электростанции	Местоположение	Напор, м	Установленная мощность, кВт	Год ввода в эксплуатацию
1	Баба Вали	Кандагар	-	330	1935
2	Чалварча	Герат	-	80	1936
3	Чак Вардак	Вардак	9	3900	1941
4	Пульхомри	Баглан	-	4800	1941

Военные действия и нестабильность обстановки препятствуют развитию возобновляемых источников энергии. Энергия импортируется из других стран, увеличившись с 34% в 2006 г. примерно до 75% в 2020 г. (2350 ГВт·ч), импорт осуществляется из Таджикистана, Узбекистана, Ирана и Туркменистана (рис. 1).

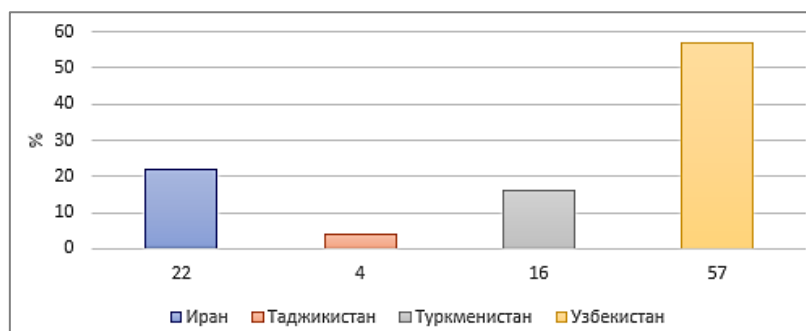


Рис. 1. Импорт энергии в Афганистан, % [4]

На карте Афганистана представлены существующие гидроэлектростанции, которые были реконструированы (рис. 2). Среди них ГЭС Наглу является самой крупной в стране.

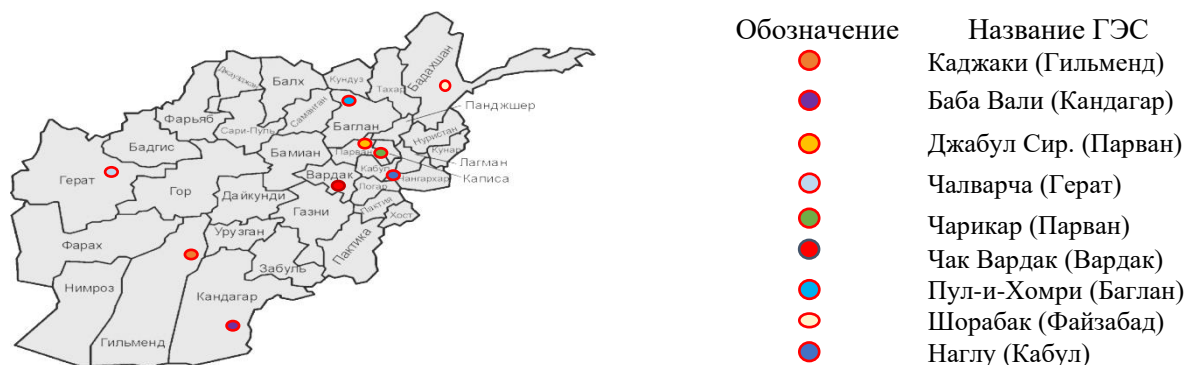


Рис. 2. Местоположение существующих ГЭС

ГЭС Наглу находится на реке Кабул в провинции Кабул, в 40 км от столицы Афганистана (рис. 3, 4). Мощность гидроэлектростанции Наглу – 100 МВт, что делает её крупнейшей в Афганистане. Строительство ГЭС Наглу финансировалось и осуществлялось при помощи Советского Союза, начиная с 1960 по 1968 год [5].



Рис. 3. ГЭС Наглу



Рис. 4. Здание ГЭС Наглу

Данные о внутренних и импортных энергоносителях, поставляемых в Афганистан, обобщены в табл. 2.

Таблица 2 – Развитие производства и импорта электроэнергии в Афганистане [6]

Год	2006	2010	2014	2018	2020	2022
Гидроэлектроэнергия, ГВтч	644	755	617	835	910	801
Тепловая, ГВтч	213	211	197	93	101	39
Импорт, ГВтч	432	609	752	1155	1572	2246
Итого, ГВтч	1289	1575	1566	2083	2583	3086

В настоящее время энергосистема Афганистана довольно сложна. Она работает в девяти различных «островах» – электросети в зависимости от источников электроснабжения. Это означает, что разные регионы снабжаются из разных источников, и из-за технических ограничений эти регионы не взаимосвязаны и не синхронизированы. Этот режим привел к ситуации, где значительная часть населения отключена от национальной электросети, что имеет неблагоприятное воздействие на процесс развития. Основываясь на Генеральном плане развития энергетического сектора Афганистана [4], разработанном Азиатским банком развития, приведены наиболее значительные гидроэнергетические проекты (табл. 3).

Таблица 3 – Перечень потенциальных вариантов строительства ГЭС в Афганистане

№ п/п	Проект	Река	Провинция	Мощность, МВт	Годовая выработка электроэнергии, ГВтч	Проектная стоимость, млн долларов
1	Соруби 2	Кабул	Лагман	180	891	700
2	Кунар (Шал)	Кунар	Кунар	789	4772	2000
3	Каджаки	Гельманд	Гельманд	100	493	300
4	Кукча	Кукча	Бадахшан	445	2238	1400
5	Кунар (Сагаи)	Кунар	Кунар	300	1485	600
6	Упар Аму	Амударя	Тахар	1000	4955	2500
7	Даштиджом	Пияни	Гор	4000	19819	8000

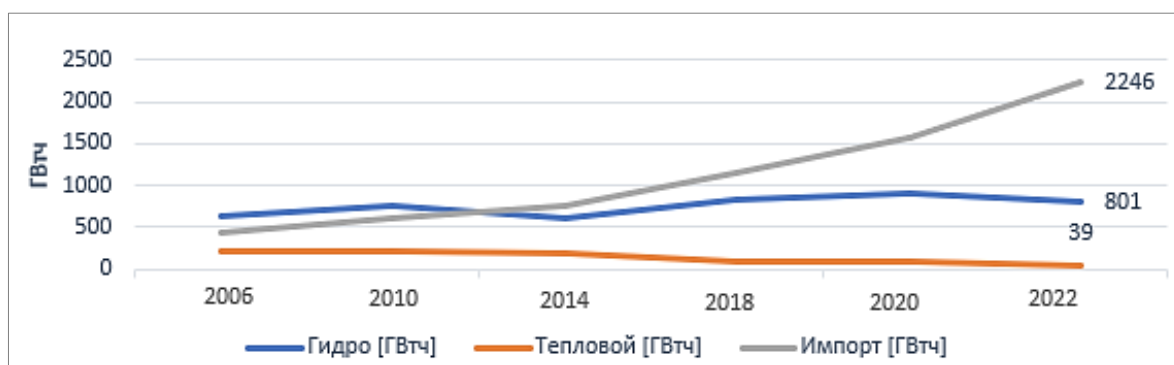


Рис. 5. Развитие производства и импорта электроэнергии в Афганистане [4]

За последние годы наблюдается, что уровень импорта электроэнергии из зарубежных стран растет, а внутреннее производство уменьшается (рис. 5).

*Выводы.* 1. Афганистан обладает богатыми природными ресурсами для развития гидроэнергетики. 2. Обеспеченность электроэнергией Афганистана на 75% зависит от соседних стран: Таджикистана, Ирана, Узбекистана и Туркменистана. 3. Главным приоритетом энергетической политики является создание экономической самостоятельной энергетической системы, на основе собственных ресурсов и строительства ГЭС. 4. Эффективное использование собственных ресурсов, разработка новых методов и технологий, создание новых проектов позволят обеспечить страну электроэнергией.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Yuksel I. Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, vol. 12, no. 6, pp. 1622–1640.
2. Afghanistan Renewable Energy Policy. Ministry of Energy and Water – Afghanistan (2021).
3. Sharifi M.S. (2009) Electric Residential Load Growth in Kabul City-Afghanistan for Sustainable Situation. (Thesis) Ohio, USA, Ohio University. [Электронный ресурс]. URL: [https://etd.ohiolink.edu/!etd.send\\_file?accession=ohiou1257515533&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=ohiou1257515533&disposition=inline). (Дата обращения: 17.10.2023).
4. Исламская Республика Афганистан: Генеральный план развития энергетического сектора, май 2020 г., 6-2. Азиатский банк развития, [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adb.org/sites/default/files/projectdocument/76570/43497-012-afg-tacr.pdf>. (Дата обращения: 20.12.2023).
5. ГЭС Наглу. [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/Y6xC63w4tknZNJ-7?experiment=931375>. (Дата обращения: 18.12.2023).
6. Islamic Republic of Afghanistan: Power sector master plan, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adb.org/sites/default/files/projectdocument/76570/43497-012-afg-tacr.pdf>. (Дата обращения: 10.11.2023).

ACCELERATING THE TRANSITION TO RENEWABLE ENERGY IN LIBYA:  
OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Libya, strategically located in North Africa, plays a significant role in connecting the oil, gas, and electricity international grid. However, to maintain oil resources for future generations and reduce pollution, it is crucial to secure alternative energy sources. Libya's energy mix is dominated by fossil fuels, with crude oil accounting for 78.7% of total energy production in 2011 [1]. To diversify its energy sources, Libya has established a target of 10% renewable energy by 2025 [1]. As of 2021, renewable energy sources in Libya include wind, concentrated solar power, solar photovoltaic, and solar heat, but they account for a small percentage of the total energy supply [2]. The Renewable Energy Authority of Libya (REAOL) has set targets for renewable energy, aiming for 2,219 MW by 2025, with intermediate targets of 389 MW by 2015 and 1,069 MW by 2020 [1]. However, challenges such as limited legislation, grid access, and a lack of financial support for renewable energy projects have hindered the development of a more sustainable energy mix [1].

Libya has a great potential for solar energy and wind energy. In the coastal regions, the daily average of solar radiation on a horizontal plane account to 7.1 kWh/m<sup>2</sup>/day whilst the radiation is 8.1 kWh/m<sup>2</sup>/day in the southern region. The average sun duration is of more than 3,500 hours/year (fig. 1) shows annual percentage generation per unit of installed Photo-Voltaic Solar Panels (PV). This is equivalent to a layer of 25 cm of crude oil per year on the land surface [1, 3] (fig. 2) shows the distribution of wind potential in Libya comparing to the world's distribution. The wind prospects are promising, with an average wind speed ranging from 6 to 7.5 m/s at a 40-meter height. Derna, situated along the Libyan coast, stands out as one of the appealing spots, boasting an average wind speed of approximately 7.5 m/s [1].

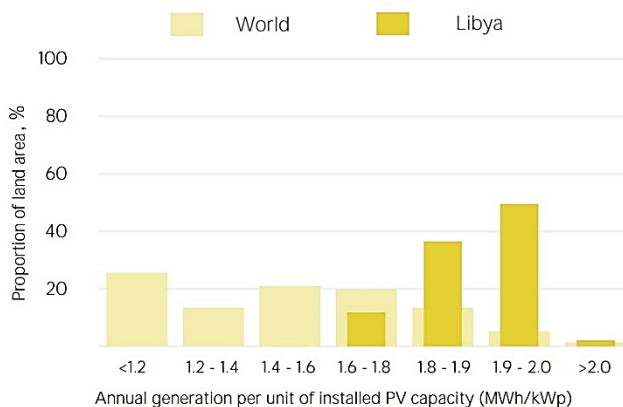


Fig. 1. Distribution of solar potential [2]

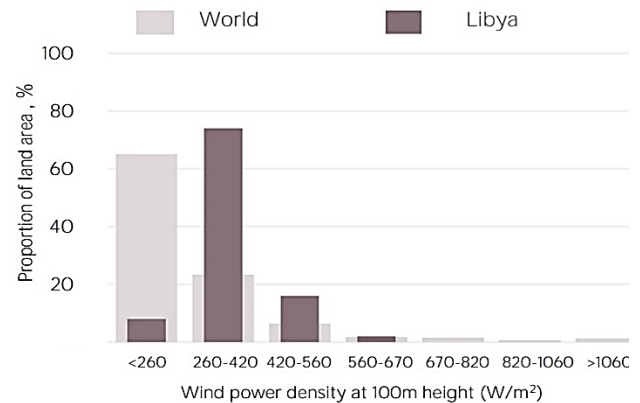


Fig. 2. Distribution of wind potential [2]

As of a conclusion of 2021, Libya possessed the largest confirmed oil reserves in Africa, totaling 48 billion barrels, constituting 39% of the entire continent's reserves [4]. Libya secured a position among the top 10 countries globally with proved oil reserves. The primary reservoirs, the onshore Sirte Basin in the northeast and Murzuq Basin in the southwest, house approximately 93% of the nation's recoverable reserves and serve as the main hubs for oil production [5]. Notably, a significant portion of Libya's territory remains unexplored, and persistent civil unrest has hindered the implementation of extensive exploration initiatives. Despite political shifts, renewable energy, particularly solar and wind, remains strategically vital for the nation's energy security [6]. This

exploration underscores Libya's possession of substantial proven oil reserves, highlighting the intricate balance of dependence on oil and natural gas in sustaining the country's economy.

As of the beginning of 2021, Libya's Audit Bureau highlighted that the operational capacity of power plants stood at 4.8 GW, representing 42% of the country's total installed capacity of 11.5 GW. During the summer, peak demand reached an estimated 7.5 GW, resulting in a notable power deficit of nearly 3.0 GW. Since 2011, Libya has grappled with power shortages, impacting various sectors, including oil and natural gas facilities, refineries, and gas processing units [7].

Libya's overall electricity generation has witnessed a decline since 2013, with an estimated 32 terawatt-hours (TWh) of power generated in 2019 (fig. 3). The country predominantly relied on natural gas (67%) and oil (33%) for electricity generation in 2019 [8]. Diesel and fuel oil were the primary petroleum sources for power plants, although those situated at oil fields resorted to crude oil in the absence of imported refined products. Owing to frequent blackouts, numerous businesses in Libya have adopted diesel-fired generators as a secondary means of power generation.



Fig. 3. Electricity generation each year [8]

Libya, endowed with abundant solar and wind resources, possesses the potential to harness these forces to generate substantial clean energy [2]. This study sheds light on ongoing projects such as the Al-Fattaih wind farm, emphasizing the government's concerted efforts to promote renewable energy growth through initiatives like the Clean Development Mechanism (CDM) [9]. The CDM, under the Kyoto Protocol, allows developing nations to implement emission reduction projects and receive certified emission reduction (CER) credits. These credits can then be traded or sold to industrialized countries to meet their emission reduction targets. Libya, with its vast renewable energy potential, could leverage the CDM to encourage and finance projects that reduce greenhouse gas emissions. This could include initiatives in the solar and wind energy sectors, helping the country transition towards a more sustainable and low-carbon energy system. Engaging in such initiatives not only contributes to global climate goals but also attracts international investments and promotes the adoption of cleaner technologies.



The challenges in advancing renewable energy in Libya are multifaceted. Persistent political instability and conflicts have created an uncertain investment climate, deterring potential investors in the renewable sector. Limited financial resources further impede large-scale projects, hindering the development of crucial infrastructure. The existing energy infrastructure in Libya is underdeveloped, requiring significant investments and reforms to integrate renewable sources effectively. Additionally, the absence of a comprehensive regulatory framework poses challenges in promoting renewable energy initiatives. A critical barrier to the widespread adoption of renewable energy lies in the prevailing regulatory and policy landscape [8]. Libya, historically entrenched in hydrocarbon regulations, faces the imperative to adapt and create an enabling environment for renewable energy growth [10]. However, the main challenges can be summarized in the following points:

- financial constraints;
- technological barriers;
- grid integration challenges;
- policies and regulations.

Despite these hurdles, the nation's abundant solar and wind resources present an opportunity for sustainable energy development, capable of addressing these challenges and steering Libya towards a more resilient and diversified energy landscape.

Propelling Libya towards renewable energy is imperative to overcome persistent power deficits and foster sustainable development. The nation's vast solar and wind resources remain largely untapped, presenting a promising avenue for clean energy. Key methods to expedite this transition include substantial investments in renewable infrastructure, policy reforms to incentivize adoption, international collaboration for expertise and financial support, educational initiatives, and community engagement. There are some recommendations:

- Establish a national task force for streamlined renewable energy development.
- Provide financial incentives to encourage private and public investment in sustainable projects.
- Foster public-private partnerships to leverage resources and expertise.
- Create transparent regulatory frameworks to facilitate a smooth transition to renewable energy.
- Prioritize workforce development and education to support the growing renewable energy sector.

#### REFERENCES:

1. Energypedia: wiki platform for collaborative knowledge exchange on renewable energy, energy access, and energy efficiency topics in developing countries – Libya Energy Situation – energypedia
2. The International Energy Agency (IEA), the IEA works with governments and industry to shape a secure and sustainable energy future – Libya – Countries & Regions – IEA
3. Saleh I.M. 2006: Prospects of Renewable Energy in Libya, International Symposium on Solar Physics and Solar Eclipses (SPSE), <http://www.irsol.ch/spse/spse-download.php?pid=20>.
4. Oil & Gas Journal, Worldwide Look at Reserves and Production, December 2021.
5. Rystad Energy U Cube (accessed February 2022).
6. El-Osta W., 1995. Evaluation of wind energy potential in Libya. *Applied Energy Special Proc.*, 2: 675–684.
7. Libya: Energy Country Profile – Our World in Data
8. Ember – Yearly Electricity Data (2023); Ember – European Electricity Review (2022); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023)
9. Mandil C. World Energy Outlook 2005: Middle East North Africa Insights Middle East North Africa. Paris.
10. Mohamed A.M.A., Al-Habaibeh A. and Abdo H., 2013. An investigation into the current utilization and prospective of renewable energy resources and technologies in Libya. *Renew. Energy*, 50: 732-740. DOI: 10.1016/j.renene.2012.07.038

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ФИНСКОГО ЗАЛИВА

*Цель работы* – сравнительный анализ и оценка ветроэнергетического потенциала прибрежной территории Финского залива.

Ветроэнергетика – направление энергетики, которое рассматривает преобразование кинетической энергии ветрового потока в механическую и/или в электрическую [1]. В



■ Фактический объем вводов ВЭС по состоянию на 01.07.2023  
 ■ Плановый объем вводов ВЭС по результатам прошедших ОПВ

Рис. 1

настоящее время ветроэнергетика, особенно в Европе и Северной Америке, сталкивается с рядом проблем: сбои в цепочках поставок, высокие затраты и длительные сроки выдачи разрешений. В результате этих проблем прогноз береговой ветроэнергетики за пределами Китая был пересмотрен в сторону понижения, поскольку общее развитие проекта шло медленнее, чем ожидалось. Несмотря на все проблемы, согласно данным аналитического центра EMBER [2], ветроэнергетика в странах ЕС в 2023 г. достигла важной отметки, обогнав газовые электростанции, как основной источник энергии.

Согласно отчету АРВЭ [3], наибольший объем проектов ВЭС России реализован в Ставропольском крае, Ростовской и Астраханской областях. Суммарно на данные три региона приходится свыше двух третей всей установленной мощности ВЭС в ЕЭС России (1617 МВт из 2359 МВт), построенных в рамках ДПМ ВИЭ. Вводы ВЭС также запланированы в Волгоградской и Самарской областях, Республиках Дагестан и Татарстан и др. Распределение отобранных проектов

ветрогенерации по субъектам РФ, реализация которых запланирована до конца 2029 г., представлено на рис. 1. В 2024 г. в рамках механизма поддержки ВИЭ-генерации на розничных рынках в Ленинградской области также планируется ввод в эксплуатацию ВЭС Вистино мощностью 24,9 МВт (ПАО «ТГК-1»). Так, согласно прогнозам АРВЭ [4] благодаря ВЭС Вистино к 2028 г. доля ВИЭ в балансе мощности Ленинградской области должна составить 0,2%, что в 20 раз превысит этот показатель в 2022 г.

Для достижения поставленной цели по оценке ветроэнергетического потенциала территории Финского залива была рассчитана удельная мощность ветрового потока  $N_e$ , Вт/м<sup>2</sup>, т.е. энергия массы воздуха плотностью  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, имеющая скорость  $V$ , м/с и дифференциальную повторяемость этой скорости  $df$ , проходящую за секунду через сечение 1 м<sup>2</sup> по следующей формуле [5]:

$$N_e = \frac{1}{2} \rho V^3 df.$$

В программном комплексе WindPRO были заданы координаты четырех расчётных точек береговой линии Финского залива вблизи следующих населенных пунктах: г. Кронштадт, п.

Лисий Нос, г. Зеленогорск, п. Лебяжье, и на основании метеоданных ERA5 за 30 лет (с 1994 г. по 2024 г.) на высоте 100 м был получен отчёт, в котором приведена средняя скорость и её повторяемость по основным румбам. Полученные значения сведены в табл. 1.

Таблица 1

1. Финский залив прибрежная зона г. Кронштадт												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	5,86	5,95	6,50	6,58	6,45	7,04	7,33	8,16	8,46	8,18	6,67	6,09
df	5,5	5,1	6,5	6,7	6,4	7,7	8,6	10,5	11,7	14,9	9,8	6,5
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	6,8	6,6	10,9	11,7	10,5	16,5	20,7	34,9	43,4	50,0	17,8	9,0
2. Финский залив прибрежная зона п. Лисий Нос												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	5,68	5,83	6,28	6,20	6,13	6,79	7,09	7,75	8,04	7,77	6,36	5,92
df	5,3	5,3	6,6	6,4	6,1	7,8	8,9	10,5	11,7	15,2	9,7	6,4
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	5,9	6,4	10,0	9,3	8,6	15,0	19,4	29,9	37,2	43,7	15,3	8,1
3. Финский залив прибрежная зона г. Зеленогорск												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	5,74	5,79	5,97	5,98	5,83	6,39	6,75	7,44	7,40	6,71	6,03	5,86
df	6,3	6,0	6,4	6,3	6,0	7,7	8,8	10,9	13,5	13,5	7,9	6,6
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	7,3	7,1	8,3	8,3	7,3	12,3	16,6	27,5	33,5	25,0	10,6	8,1
4. Финский залив прибрежная зона п. Лебяжье												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	5,94	5,96	6,59	6,89	6,73	7,13	7,50	8,45	8,69	8,37	6,82	6,19
df	5,6	5,2	6,4	7,1	6,6	7,5	8,4	11,0	11,8	14,5	9,6	6,5
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	7,2	6,7	11,2	14,2	12,3	16,7	21,7	40,7	47,4	52,1	18,7	9,4

Для сравнительного анализа были рассчитаны удельные мощности в пяти точках максимально приближенных к действующим ВЭС России, на основании отчётов программы WindPRO (табл. 2).

Таблица 2

1. Кочубеевская ВЭС (Ставропольский край)												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	2,69	2,86	3,98	7,49	6,61	3,63	2,37	2,20	3,27	5,96	5,18	3,29
df	2,4	2,7	5,2	24,5	21,5	4,9	2,5	2,2	4,3	15,1	10,6	3,9
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	0,3	0,4	2,0	63,1	38,0	1,4	0,2	0,1	0,9	19,6	9,0	0,9
2. Каменская ВЭС (Ростовская область)												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	4,76	5,04	5,61	6,75	6,89	6,28	5,97	6,72	6,82	6,22	5,83	5,29
df	6,0	6,5	8,8	13,5	12,1	6,7	5,0	7,7	9,8	8,1	8,3	7,5
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	4,0	5,1	9,5	25,4	24,2	10,2	6,5	14,3	19,0	11,9	10,1	6,8
3. Кольская ВЭС (Мурманская область)												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	5,54	5,18	5,05	5,14	5,37	5,98	6,51	6,98	6,92	6,87	6,74	6,18
df	6,5	5,0	4,6	4,5	4,7	6,9	10,8	14,7	13,7	11,6	9,2	7,8
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	6,8	4,3	3,6	3,7	4,5	9,0	18,3	30,6	27,8	23,0	17,3	11,3
4. Приютенская ВЭС (Республика Калмыкия)												
Румб	С	ССВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	ССЗ
V, м/с	4,93	5,51	6,67	7,76	7,63	6,15	5,78	5,54	6,81	7,87	6,51	5,31
df	3,9	5,4	9,8	16,6	14,9	7,0	4,3	3,5	6,3	14,2	9,3	5,0
N <sub>e</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	2,9	5,5	17,8	47,5	40,5	10,0	5,1	3,6	12,2	42,4	15,7	4,6

На основании табл. 1 и 2 были рассчитаны средние удельные мощности территорий, распределение которых показаны на рис. 2. Среднее значение для прибрежной зоны Финского залива составляет  $219,5 \text{ Вт/м}^2$ , что характеризует общий ветроэнергетический потенциал как высокий.

Сравнивая данные по удельной мощности территории на действующих ВЭС с этим средним значением, видно, что ВЭС Кочубеевская имеет наименьший потенциал с удельной мощностью  $135,9 \text{ Вт/м}^2$ , что ниже среднего значения прибрежной зоны Финского залива. Ветроэлектрическая станция Каменская и Кольская также имеет потенциал ниже среднего значения прибрежной зоны Финского залива ( $146 \text{ Вт/м}^2$  и  $160 \text{ Вт/м}^2$  соответственно). Приютенская ВЭС имеет наибольшую удельную мощность ( $207,8 \text{ Вт/м}^2$ ) из сравниваемых, но относительно прибрежной зоны залива данный показатель также ниже.



Рис. 2

Анализ удельной мощности территорий подчеркивает различия в их энергетическом потенциале и позволяет сделать вывод о перспективности дальнейшего развития ветроэнергетики Финского залива. Результаты указывают на важность оптимизации местоположения для максимизации производства энергии и эффективного вклада в сектор возобновляемых источников энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев Ю.С., Безруких П.П., Елистратов В.В., Сидоренко Г.И. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России. Учебное пособие. СПбПУ, 2008.
2. Ember, European Electricity Review 2024 / [Электронный ресурс], Ember, Лондон / Режим доступа: <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024> (Дата обращения 01.02.2024).
3. АРВЭ (2023), Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития (2021 год–1 пол.2022 года) / [Электронный ресурс], Ассоциация развития возобновляемой энергетики / Режим доступа: <https://treda.ru/products/yearly-reviews/?year=2023> (Дата обращения 02.02.2024).
4. Ленинградская область и Санкт-Петербург / [Электронный ресурс]: <https://treda.ru/ratings/regions/509> (Дата обращения 02.02.2024).
5. Панфилов А.А., Дюльдин М.В. Расчет параметров ветроэлектрических станций на основе теоретической оценки ветропотенциала территории. Уч. пособие. СПбПУ, 2023.

## USE OF STIPA ICHU FIBER AS THERMAL INSULATION

The objective of this article is to present the thermal properties of an eco-friendly and abundant material in the Andean zone of Peru. In this way, we seek to solve the problems of comfort and quality in these regions of Peru. Using eco-friendly thermal insulation materials is crucial for minimizing environmental impact and preserving natural resources. These materials should be sustainably produced from renewable and biodegradable resources, with minimal environmental impact both in their manufacturing and application. Bioconstruction refers to building systems that utilize environmentally friendly materials – often sourced from plant-based, biodegradable resources – resulting in low ecological footprints [1]. Eco-friendly thermal insulation materials help lower energy consumption, waste production, and aid in environmental preservation. Examples of cost-effective and readily available options include rock wool, a natural, biodegradable material extracted from limestone, known for its excellent insulating properties; Cellulose, derived from wood, is another natural and biodegradable choice for insulation; Fiberglass insulators, made from synthetic fiberglass, are affordable and efficient thermal insulators that are widely accessible.

The time when frost occurs varies depending on the specific weather patterns of each geographic area. In the Andean region of Peru, at altitudes above 3200 m above sea level, the period with the highest frequency of days with meteorological frosts is mainly between May and September, with June and July being the months with a significant increase in the occurrence of frost [2]. In the high Andean areas of Peru, the use of Stipa Ichu fiber is observed for the use of adobe bricks, to improve their mechanical characteristics. In mechanical evaluations of bending, the study shows that ichu fiber at 2.5% use, is 33.02 kg/cm<sup>2</sup>, demonstrating that it has greater resistance to bending, compared to pine fiber at levels of 2.5%, 5% and 7%; This being 27.07 kg/cm<sup>2</sup>, 25.20 kg/cm<sup>2</sup> and 26.00 kg/cm<sup>2</sup> respectively [3].

This article presents laboratory results that exhibit the properties of the natural fiber known by the scientific name Stipa Ichu as a thermal insulating material in the dry construction system, also known as drywall. The use of this fiber could reduce heat loss in housing structures located in cold areas of Peru. This article will use information about the thermal conductivity of a panel composed of fiber cement with Stipa Ichu aggregate, comparing it with that of samples that use another type of thermal insulator, with the aim of obtaining comparative results [4].

The process started with obtaining test results for specimen characteristics, especially thermal conductivity variables. Graphs were then created to illustrate the conductivity data for each type studied and compared. The thermal conduction values for the fillers were presented separately from the fiber cement covers. Ultimately, the factor achieving functional equivalence between glass wool and Sipas ichu conglomerate was determined [5]. Table 1 shows the averages of the thermal conductivity coefficients that were obtained for each type of specimen based on the data provided by the laboratory. It is worth highlighting the general result of the significant tests for the specimens with glass wool filling and those with ichu conglomerate filling with the results with coefficients of 0.0848 and 0.1078. A 29% advantage in thermal insulating quality in favor of glass wool.

Reference tests were carried out and the trends observed in table 2. It is observed that the specimens with the fiber in longer cuts had lower density, and the density is inversely proportional to the thermal conductivity coefficient. These early results led to the preparation of the specimens with fiber length cuts of 5cm and in the form of a conglomerate.

It is observed that the lowest values of thermal conductivity, indicating a better insulating capacity, were found firstly in the samples that included glass wool and secondly in those with the Stipa ichu fiber conglomerate.

Table 1 – Nominal thermal conductivity averages

Nominal thermal conductivity averages							
	MAD	AIR	ICH = 20	ICH = 10	ICH = 5	ICH < 5	GW
T° Average = 15	0.3241	0.2925	0.1093	0.0983	0.1114	0.1004	0.0715
T° Average = 20	0.3401	0.301	0.1114	0.1043	0.1132	0.1047	0.0708
T° Average = 25	0.3583	0.3113	0.1541	0.1516	0.1342	0.1091	0.0906
T° Average = 35	0.4118	0.3456	0.1664	0.1602	0.1456	0.1189	0.0961
T° Average = 25	0.4505	0.3634	0.1738	0.1535	0.1453	0.1061	0.0952
Overall Average	0.377	0.3228	0.143	0.1336	0.13	0.1078	0.0848

Table 2 – Nominal thermal conductivity averages

	ICH5	ICH10	ICH20
Coef. conductivity	0.124	0.155	0.165
Density	27.89	25.36	22.2

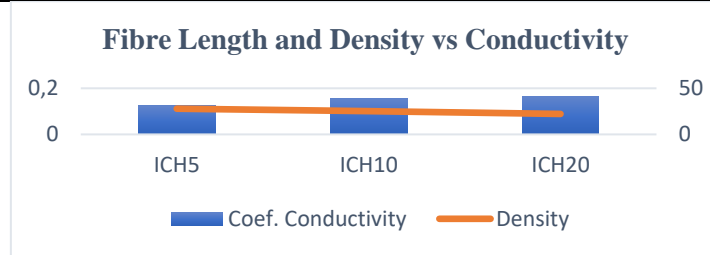


Fig. 1. Fibre Length and Density vs Thermal Conductivity

The intermediate values correspond to the tests in which cut Stipa ichu fiber was used without adhesive. In contrast, the two curves with the highest values correspond to the unfilled samples, which were used to evaluate the possible presence of thermal bridges. As expected, the lack of filling increases the thermal conductivity in a partition, since air can move freely and generate convection. According to standards consider a thermal insulating material to be one whose thermal conductivity coefficient  $\lambda$  is less than 0.10 W/m·K at a temperature of 23 °C [6]. In this specific study, an average value of 0.1078 W/m·K was obtained for the  $\lambda$  coefficient of the assembly made up of the fiber cement board and the Stipa ichu conglomerate <5 mm, with a density of 35.5 kg/m<sup>3</sup>. With these data, the determination of the individual values of  $\lambda$  for each component of the wall studied was proposed. By solving the conductivity heat transfer equation, based on Fourier's law applied to each test, the average value of  $Q$  (W) is obtained, which represents the heat transfer flux. Subsequently, using the heat transfer equation to calculate the value of  $Q$  (W) of a wall composed of several materials in series and solving for  $\lambda$  relative to the Stipa ichu, the following expression is obtained:

$$\lambda_{isolation} = \frac{x_{isolation}}{\left[ \frac{\Delta T^\circ \times A}{Q_t} - \left( 2 \times \frac{x_{fc}}{\lambda_{fc}} \right) \right]}$$

The mathematical expression was applied to each case and its results are obtained as a result, the average  $\lambda$  thermal conductivity coefficient obtained for the Stipa ichu insulating material is:

$$\lambda = 0.0943 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}.$$

In the same way, the average value of thermal conductivity of the glass wool was obtained under the conditions of the study based on the results of each test.

$$\lambda = 0.0729 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}.$$

Also was important the thermal resistance  $R$  in m<sup>2</sup>·K/W and the thermal conductance  $C$  in W/m<sup>2</sup>·K. Considering the thickness of the material had to be taken into account, for which a list of tabulated values was prepared in a range from 0.040 m to 0.200 m, which are widely used widths for a housing envelope. The values corresponding to the 8 mm fiber cement board were also calculated. of thickness.

Table 3 – Thermal resistance and thermal conductance by thickness of Ichu insulation and thickness of the composite wall

Conductivity Thermal Stipa Ichu	Thickness (m)	Resistance R Ichu, m <sup>2</sup> ·K/W	Conductance C Ichu, W/m <sup>2</sup> ·K	Conductivity, Thermal λ FC 8mm	Composite wall thickness, m	Resistance R Total, m <sup>2</sup> ·K/W	Conductivity C Total, W/m <sup>2</sup> ·K
0.0943	0.040	0.4241	2.3580	0.26	0.056	0.4856	2.0592
0.0943	0.050	0.5301	1.8864	0.26	0.066	0.5917	1.6902
0.0943	0.060	0.6361	1.5720	0.26	0.076	0.6977	1.4333
0.0943	0.065	0.6891	1.4511	0.26	0.081	0.7507	1.3321
0.0943	0.070	0.7422	1.3474	0.26	0.086	0.8037	1.2442
0.0943	0.080	0.8482	1.1790	0.26	0.096	0.9097	1.0992
0.0943	0.090	0.9542	1.0480	0.26	0.106	1.0157	0.9845
0.0943	0.100	1.0602	0.9432	0.26	0.116	1.1218	0.8915
0.0943	0.110	1.1662	0.8574	0.26	0.126	1.2278	0.8145
0.0943	0.120	1.2723	0.7860	0.26	0.136	1.3338	0.7497
0.0943	0.130	1.3783	0.7255	0.26	0.146	1.4398	0.6945
0.0943	0.140	1.4843	0.6737	0.26	0.156	1.5459	0.6469
0.0943	0.150	1.5903	0.6288	0.26	0.166	1.6519	0.6054
0.0943	0.160	1.6964	0.5895	0.26	0.176	1.7579	0.5689
0.0943	0.170	1.8024	0.5548	0.26	0.186	1.8639	0.5365
0.0943	0.180	1.9084	0.5240	0.26	0.196	1.9699	0.5076
0.0943	0.190	2.0144	0.4964	0.26	0.206	2.0760	0.4817
0.0943	0.200	2.1205	0.4716	0.26	0.216	2.1820	0.4583

As a result, the functional equivalence between the glass wool and the Stipa ichu conglomerate is obtained. For this purpose, the value most similar to the R of glass wool was sought, an extrapolation is carried out and it is determined that the value of the equivalent thickness, that is, The thickness that Stipa Ichu conglomerate must have to achieve the same thermal resistance as glass wool with a thickness of 0.065 m is 0.084 m.

Conclusion: Finally, it was possible to find a relationship between the thicknesses that allows scaling the values of the density variable and finding the respective operational equivalences. As an example of the latter, a calculation was made that will be referred to in the environmental impact evaluation when the values are transformed to compare scenarios. Factor = LV thickness / Stipa ichu equivalent thickness = 0.084/0.065 = 1.29. Knowing that the average value of the density of the Ichu conglomerate is 35.5 kg/m<sup>3</sup>, applying the calculated factor, it was obtained that the equivalent density is 45.79 kg/m<sup>3</sup>.

#### REFERENCES:

1. Kusha Ghoreishi Karimi/ Ecomateriales y construcción sostenible, 2011. [Online]. Available: <http://www.eoi.es>
2. Senamhi. Comportamiento de heladas y friajes a nivel nacional 2023, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/255>
3. Vasquez L.V., Ramírez H.R.M., and Miguel Angel M.M. Analysis of the mechanical and physical properties of adobe compacted with ichu and pine fibers, in Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/laccei2023.1.1.395.
4. Pinas J.M., Lira L., Horn M., Solis J.L., and Gómez M.M. Influence of Stipa ichu on the thermal and mechanical properties of adobe as a biocomposite material, in Journal of Physics: Conference Series, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1433/1/012003.
5. Martin F., Gonzales C., José E., and Peña B. Estudio de la fibra de ichu incorporada como aislante térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envolventes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú, 2022.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В РЕЖИМЕ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

*Цель работы* – экспериментальные исследования по использованию центробежного насоса в турбинном режиме.

Анализ показал, что перспективными для ГАЭС могут оказаться лопастные, в том числе центробежные насосы, которые могут работать не только в насосном, но и в турбинном режимах. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования характеристик центробежного насоса 1,5К-6 в турбинных (ТР) и насосных (НР) режимах [1]. Для этих исследований был создан экспериментальный стенд, имитирующий работу насоса в ГАЭС. На рис. 1 показана схема (а) и общий вид (б) этого стенда.

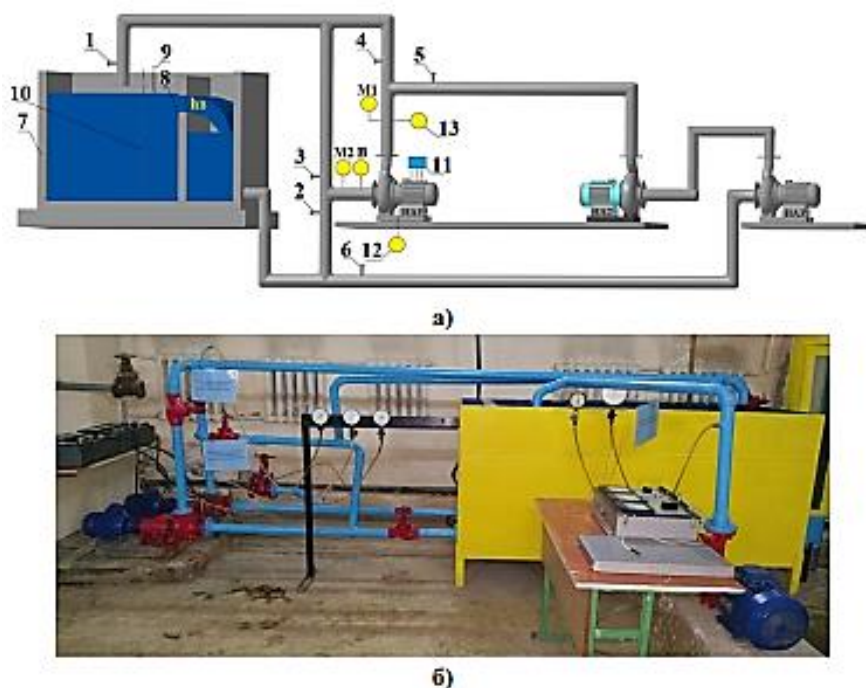


Рис. 1. Схема (а) и снимок (б) экспериментального стенда ГАЭС:

НА1 – центробежный насос типа 1,5К-6 с асинхронным электродвигателем КАМ-30; НА2 и НА3 – центробежные насосы типа К20/30-У2; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – задвижка; 7 – бак; 8 – треугольный водослив с тонкой стенкой; 9 – мерная игла; 10 – успокаивающая решетка; 11 – измерительный комплект типа К 505; 12 – тахогенератор типа Д-ИММ; 13 – датчик давления типа ИД-8

Насос 1,5К-6 имеет следующие параметры [2]:

- развиваемый напор в номинальном насосном режиме – 14 м;
- номинальная подача – 3 л/с;
- частота вращения – 2850 об/мин;
- КПД номинальный – 0,47;
- диаметр рабочего колеса – 128 мм.

Для привода насоса использовался асинхронный электродвигатель КАМ-30, имеющий следующие параметры:

- мощность – 1,5 кВт;
- напряжение – 220/380 В;



- номинальный ток – 3,3 А;
- частота вращения – 2850 об/мин.;
- КПД номинальный – 0,8.

В турбинном режиме этот электродвигатель используется как асинхронный генератор. При этом он включается в сеть с переключением двух фаз.

На основании предварительных результатов исследования было получено, что при его работе как асинхронного генератора КПД равен около 0,7 [1, 2].

Напор при работе насоса 1,5К-6 в ТР создается с помощью двух последовательно работающих насосов НА-2 и НА-3 типа К20/30-У2. Вода в этой установке циркулирует через бак 7 с успокаивающей решеткой 10. Для измерения расхода воды в баке 7 устанавливается треугольный водослив с тонкой стенкой 8, напор на которой измеряется с помощью мерной иглы 9.

Замер напора в насосном режиме агрегата НА-1 производится образцовым пружинным манометром М1 и вакуумметром В. А в ТР замер напора осуществляется двумя пружинными манометрами М1 и М2. Для исследования переходных процессов при переводе насосного агрегата НА-1 в ТР замер напора в насосе 1,5К-6 также производится с помощью датчика давления 13 типа ИД-8.

Электрические показатели электродвигателя КАМ-30 (напряжение, ток, мощность) замеряются с помощью измерительного комплекта 11 типа К 505.

Частота вращения исследуемого агрегата НА-1 измеряется с помощью тахогенератора 12 типа Д-ИММ.

Для исследования работы агрегата НА-1 в насосном режиме закрываются задвижки 3, 5, 6 и открываются задвижки 1, 2, 4. При этом агрегаты НА-2 и НА-3 не работают.

Для перевода агрегата НА-1 в ТР закрываются задвижки 2, 4 и открываются 1, 3, 5, 6. Насосные агрегаты НА-2, НА-3 при этом работают в насосном режиме (НР) и подают воду к агрегату НА-1, который вращается в обратную сторону и при достижении синхронной скорости включается электродвигатель КАМ-30 в электрическую сеть. Электродвигатель переходит в генераторный режим.

При испытании насоса 1,5К-6 в обоих режимах (ТР и НР) расход воды регулируется с помощью задвижки 1.

Экспериментально полученные характеристики насоса 1.5К-6 в насосном режиме приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Экспериментальные характеристики насоса 1,5К-6 в НР

№	$H_{НР}$ , м	$Q_{НР}$ , л/с	$N_{НР}$ , Вт	$N_{0НР}$ , Вт	$\eta_{НР}$ , о.е
1	21,0	0	607,5	0	0
2	17,02	1,88	820,8	313,9	0,382
3	15,39	2,61	849,2	394,0	0,464
4	13,51	3,06	895,1	405,6	0,453
5	11,63	3,49	895,1	398,2	0,445
6	9,79	3,78	866,4	363,0	0,419
7	8,02	4,21	872,1	331,2	0,380
8	6,49	4,31	872,1	274,4	0,315
9	8,01	4,03	872,1	316,7	0,363
10	9,81	3,82	872,1	367,6	0,422
11	11,61	3,42	866,4	389,5	0,450
12	13,42	3,04	855,0	400,2	0,468
13	21,0	0	599,4	0	0

При испытании насоса 1,5К-6 в ТР работы необходимо предварительно переключить две фазы электродвигателя перед тем, как включить его в сеть [3–5].

С помощью задвижки 1 было осуществлено несколько вариантов работы насоса 1,5К-6 в ТР и сняты их параметры.

Экспериментально полученные характеристики насоса 1.5К-6 в турбинном режиме приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2 – Энергогидравлические параметры насоса 1,5К-6 в турбинном режиме

№	$H_{ТР}$ , м	$Q_{ТР}$ , л/с	$N_{ТР}$ , Вт	$N_{0ТР}$ , Вт	$\eta_t$ , о.е.
1	25,4	4,56	171,4	1137,3	0,151
2	26,1	4,13	192,9	1056,9	0,182
3	26,9	5,47	171,4	1443,5	0,119
4	25,4	4,79	171,4	1194,7	0,143

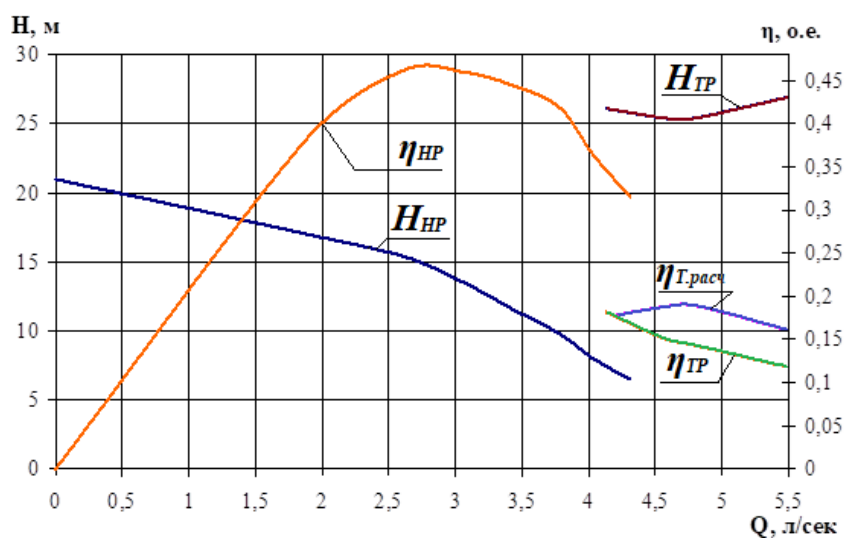


Рис. 2. Рабочие характеристики насоса 1,5К-6 в НР и ТР

**Выводы.** Значения напора и расхода в турбинном режиме больше, чем в насосном режиме, а КПД в насосном режиме больше, чем в турбинном режиме. Это согласуется с результатами исследований В.Н. Дедков, Фам Ши Хуан, М.А. Хусанов и других авторов. Кроме того, экспериментальные значения КПД меньше расчетных, это объясняется тем, что лопасти насоса не были предназначены для работы в турбинном режиме, требующем более детальной обработки поверхностей рабочего колеса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Джураев К.С., Абдуалиев А.Й., Палуанов Д.Т. Определение КПД центробежного насоса в турбинном режиме по каталожным данным и параметрам рабочего колеса / Вестник Прикаспия, 2017, № 2, с. 40–44.
2. <http://mei.org.ua/nasos-15k-6/>
3. Дедков В.Н. Применение серийных насосов в качестве гидротурбин для малой энергетики / Проблемы машиностроения, Т. 14, № 4, 2011. С. 24–30.
4. Хусанов М.А., Фам Ши Хуан. Исследование переходных процессов в насосных установках при переводе их из насосного в турбинный режим. Сб. тр. ТашГТУ, Ташкент, 1991.
5. Хусанов М.А., Фам Ши Хуан. Исследование работы центробежных насосов в турбинном режиме. Сб. тр. НПО САНИИРИ, Ташкент, 1991.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПАРАМЕТРОВ  
ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

*Цель работы* – определение основных режимов работы и параметров гидроаккумулирующих электростанций малой мощности

При определении экономической эффективности ГАЭС малой мощности надо учитывать тот фактор, что она напрямую зависит от характера графика энергопотребления [1, 2].

Например, для типичных энергопотребителей, занимающихся индивидуальным производством суточный график нагрузки (энергопотребления) может иметь вид, представленный на рис. 1. Данный график приводится в качестве примера с максимальной потребной мощностью 20 кВт и суточным потреблением электроэнергии 340 кВт·час.

В данном графике показаны усредненные значения потребной мощности, так как нагрузки индивидуальных производителей в почасовом разрезе могут носить колебательный характер, а изменение их значений имеет скачкообразную форму с незначительными амплитудами.

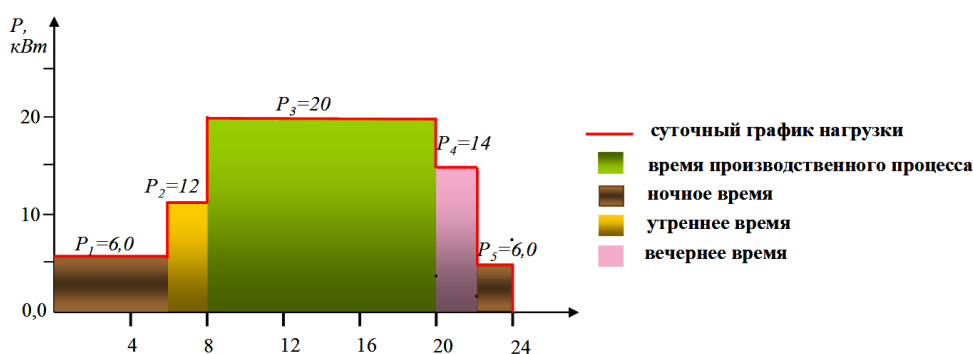


Рис. 1. График нагрузки индивидуальных производителей-потребителей

Для покрытия вышеприведенного графика нагрузки при достаточности водных ресурсов не было бы необходимости аккумуляирования нужного объема воды, прибегая к использованию гидротурбинной установки. К сожалению, такие условия не всегда доступны, и в связи с этим наша цель заключается в том, чтобы доказать возможности выработки необходимого количества электроэнергии для индивидуального энергопотребителя даже при небольших количествах воды за счет обеспечения циркуляции воды между водоемами [2, 3].

Работу ГАЭС рассмотрим на примере двух вариантов.

1. ГАЭС малой мощности с применением насосного режима только в периодах с минимальными нагрузками. При этом аккумуляирование нужного количества воды, удовлетворяется путем подачи ее насосной установкой в верхний водоем в ночное время с 22<sup>00</sup> вечера до 6<sup>00</sup> утра, когда отмечается наименьшее потребление энергии (рис. 2).

2. ГАЭС малой мощности с непрерывным насосным режимом. Данный вариант предусматривает параллельную работу насосной и гидротурбинной установок в течение суток, т.е. обеспечивается непрерывная циркуляция воды между водоемами, что приводит к значительному уменьшению объемов верхнего и нижнего водоемов.

Рассмотрим, какие показатели будет иметь ГАЭС в первом варианте [2, 4].

$$V_{\max} = \frac{367,0}{\eta^{мып}} \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot t_i}{H_{Ti}} = \frac{367,0 \cdot 340}{0,82 \cdot 6,0} = 25362 \text{ м}^3;$$

$$N_H = \frac{V_{\max} \cdot H}{367,0 \cdot t_H \cdot \eta^{нас}} = \frac{25362 \cdot 6,0}{367,0 \cdot 8,0 \cdot 0,8} = 64,8 \text{ кВт},$$

где  $t_H$  – время работы насосной установки по суточному графику нагрузки составляет 8,0 ч.

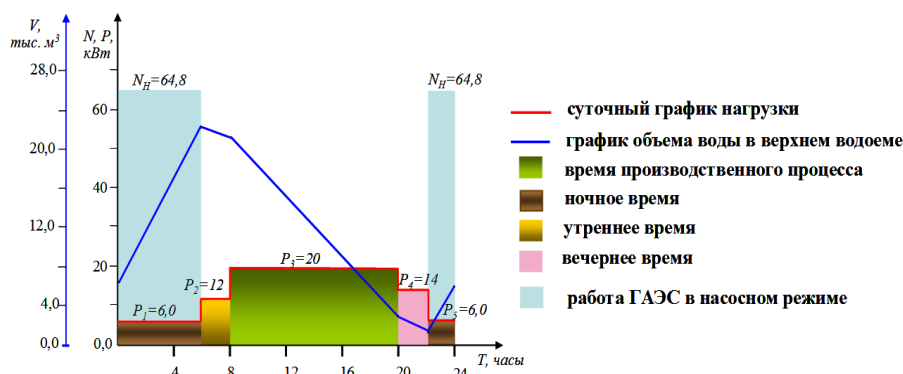


Рис. 2. Суточный режим работы ГАЭС малой мощности, работающий для покрытия графика нагрузки энергопотребителя

При этом  $V_{\max}$  соответствует величине объема воды, который необходим для выработки суточной потребной электроэнергии, т.е. 340 кВт·ч без подачи воды из нижнего водоема.

Предварительный объем воды в верхнем водоеме определяем следующим образом [2, 4]

$$V_0 = V_{\max} - V^{H_I} = 25362 - 19025 = 6337 \approx 6340 \text{ м}^3,$$

где  $V^{H_I}$  – объем воды, перекачиваемой насосной установкой [2, 4]

$$V^{H_I} = 367,0 \cdot N_H \cdot t_H \cdot \eta^{нас} / H = 367,0 \cdot 64,8 \cdot 6,0 \cdot 0,8 / 6,0 = 19025 \text{ м}^3/$$

Результаты расчетов приводим в табл. 1.

Таблица 1

Время, сутки	Величина потребления электроэнергии $P$ , кВт	Сработанный объем $\Delta V$ , м <sup>3</sup>	Объем верхнего водоема $V$ , м <sup>3</sup>	Мощность ГАЭС в турбинном режиме $N_T$ , кВт	Мощность ГАЭС насосном режиме $N_H$ , кВт
0–6	6,0	2685,0	22680,0	6,0	64,8
7–8	12,0	1790,0	20890,0	12,0	-
9–20	20,0	17902,0	2988,0	20,0	-
21–22	14,0	2088,0	900,0	14,0	-
23–24	6,0	895,0	6340,0	6,0	64,8

Из таблицы видно, что максимальный объем водоема должен быть не меньше, чем 22680 м<sup>3</sup>.

Для второго варианта, как было сказано выше, время работы насосной установки принимаем 24 часа, при этом ее мощность определяем по формуле [2, 4]:

$$N_H = \frac{V_{\max} \cdot H}{367,0 \cdot t_H \cdot \eta^{нас}} = \frac{25362 \cdot 6,0}{367,0 \cdot 24,0 \cdot 0,8} = 21,6 \text{ кВт}.$$

Принимая первоначальный объем воды в верхнем водоеме  $V_0 = 1240 \text{ м}^3$ , расчеты ведем в вышеприведенном порядке и результаты приводим в табл. 2.

По результатам данной таблицы построен график изменения параметров ГАЭС, который приведён на рис. 3.

Таблица 2

Время, сутки	Величина потребления электроэнергии $P$ , кВт	Сработанный объем $V^T$ , м <sup>3</sup>	Перекаченный объем $V^H$ , м <sup>3</sup>	Объем верхнего водоема $V$ , м <sup>3</sup>	Мощность ГАЭС в турбинном режиме $N_T$ , кВт	Мощность ГАЭС насосном режиме $N_H$ , кВт
0–6	6,0	2685,0	6342,0	4897,0	6,0	21,6
7–8	12,0	1790,0	2114,0	5221,0	12,0	21,6
9–20	20,0	17902,0	12684,0	3,0	20,0	21,6
21–22	14,0	2088,0	2114,0	29,0	14,0	21,6
23–24	6,0	895,0	2114,0	1248,0	6,0	21,6

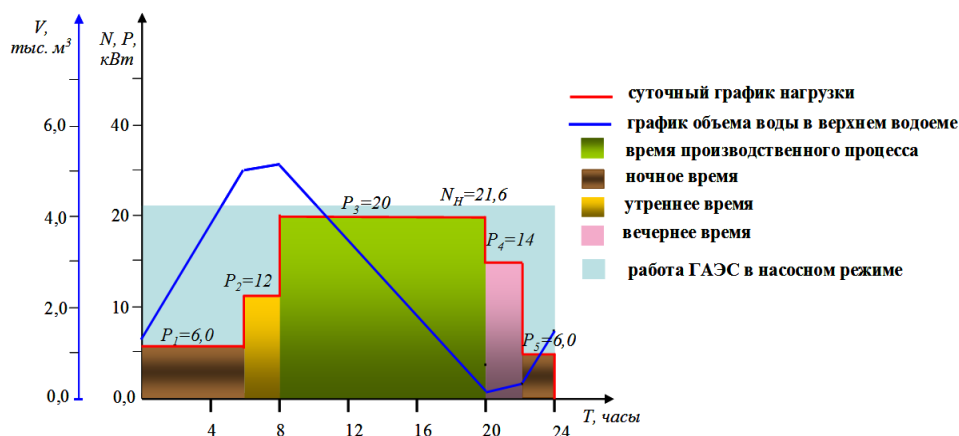


Рис. 3. Суточный режим работы ГАЭС малой мощности, работающий для покрытия графика нагрузки энергопотребителя при непрерывной подаче воды в верхний водоем

Как видно из таблицы и графика во втором варианте объем воды в водоеме не превышает 5221 м<sup>3</sup>, что более чем в 4 раза меньше в случае первого варианта. Это свидетельствует о том, что при одинаковых затратах на оборудование в обоих вариантах, во втором значительно меньше затраты на сооружение водоемов, это значит, что данный вариант экономически предпочтителен, чем первый.

Для ГАЭС малой мощности, работающих в автономном режиме, остро стоят вопросы их экономической эффективности, так как потребление электроэнергии в насосном режиме значительно больше, чем вырабатываемой энергии в турбинном режиме [2–4]. Так, в вышеприведенном примере насосная установка потребляет на 178,4 кВт·ч больше, чем количество вырабатываемой электроэнергии.

Определение эффективности по обеспечению системной надежности и топливному эффекту осуществляется только для тех ГАЭС, которые работают в составе энергосистемы. Автономно работающие ГАЭС могут быть экономически оправданными только в случае снижения энергопотребления насосной установки, или при ее замене альтернативным источником [2–4].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро Г.А. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование. Учеб. пособие; СПб.: СПбГТУ, 1996.
2. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Мамадиёров Э.К., Джураев К.С. Энергетические установки малой мощности на базе возобновляемых источников энергии. ТашГТУ, 2015.
3. Сангинов А.А., Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Выбор и обоснование параметров гидроаккумулирующих электростанций / Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi. 2023.
4. Джураев К.С., Шадибекова Ф.Т., Усмонов Х.Т. Расчет параметров и режимов работы гидроаккумулирующей установки малой мощности / Вестник ТашГТУ, 2018, № 2. С. 79–86.
5. Dzhuraev K.S., Karimova N.E., Mahmarasulov B.B. Technical and economic efficiency of pumped storage power plants in Uzbekistan. AIP Conf. Proceedings, 2022, 2552, 030015, New York, pp. 1–7.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАСКАДА  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В СОСТАВЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

*Цель работы* – определение критерия оптимизации принятым по максимуму суммарной выработки электроэнергии гидроэлектростанциями либо минимуму суммарного по всем тепловым электростанциям энергосистемы расхода условного топлива или минимума эксплуатационных затрат по системе.

Для обоснования режимов работы каскада гидроэлектростанции в составе гидроэнергетического комплекса (ГЭК) используются модели, основанные на критерии оптимизации максимума суммарной выработки электроэнергии ГЭС, минимума суммарного расхода условного топлива по всем тепловым электростанциям энергосистемы или минимума эксплуатационных затрат по системе.

При использовании критерия максимизации суммарной выработки электроэнергии каскадом ГЭС за расчётный период имеем уравнение [1]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ГЭСij}(x) k_{сутij} \Delta t_i \rightarrow \max \quad (1)$$

и следующие ограничения:

- по объёмам (уровням) каждого водохранилища

$$Z_{ВВmin ij} \leq Z_{ВВ ij}(x) \leq Z_{ВВmax ij}; \quad (2)$$

- по расходам воды в нижний бьеф каждой ГЭС

$$Q_{ВВminij} \leq Z_{НБij}(x) \leq Z_{НБ maxij}; \quad (3)$$

- по расходам воды из каждого водохранилища

$$Q_{Вminij} \leq Q_{Вij}(x) \leq Q_{В maxij}; \quad (4)$$

- по суммарной мощности всех ГЭС в каждом интервале

$$\sum N_{ГЭСmini} \leq \sum N_{ГЭСi}(x) \leq \sum N_{ГЭСmaxi}; \quad (5)$$

- по суммарной пиковой мощности всех ГЭС в каждом интервале

$$\sum N_{ГЭС.пикmini} \leq \sum N_{ГЭС.пикi}(x), \quad (6)$$

где  $x = \{x_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}\}$  – вектор независимых переменных, в качестве которых приняты расходы воды из водохранилищ  $Q_{В ij}$ , умноженный на масштабные множители  $\Delta t_i H_{срj}$ ;  $\Delta t_i$  – длительность  $i$ -го расчётного интервала, час;  $H_{срj}$  – средний за расчётный период напор, на котором используется сток водохранилища  $j$ -й ГЭС с учетом прохождения его по нижним ступеням каскада;  $\min$  и  $\max$  – соответственно означают минимально и максимально допустимые значения режимных параметров ГЭС;  $k_{сутij}$  – коэффициент суточного регулирования  $j$ -й ГЭС в  $i$ -м интервале.

Сформулированная задача (1) относится к классу задач нелинейного программирования с линейными и нелинейными ограничениями в форме равенств и неравенств. Нелинейными ограничениями относительно переменных  $x$  являются ограничения (5) и (6). Задача (1) решается с помощью метода проекции градиента. Алгоритм проектирования точки на поверхность ограничений основан на методе наискорейшего спуска.

К недостаткам данной модели можно отнести:

- минимальное количество ограничений – не включены все требования водохозяйственных, экологических и энергетических систем;
- задача имеет однокритериальную оптимизацию по энергетической составляющей;

- не учитываются особенности функционирования оптового рынка электроэнергии, интересы собственников ГЭС.
- отсутствует распределение выработки по интервалам (недели, месяц, квартал) с учетом потребности в гидроэлектроэнергии в ЭЭС Узбекистана и ее минимизация в определённые периоды.

Таким образом, приведенная модель не обеспечивает интересы, как водохозяйственных комплексов, так и энергетических.

Модель оптимизации с критерием оптимальности по минимуму суммарного по всем ТЭС энергосистемы расхода условного топлива имеет вид [1, 2]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{\gamma=1}^r B_{i\gamma} \rightarrow \min \quad (7)$$

При этом в систему ограничений помимо (2)-(4) включаются следующие дополнительные ограничения:

- по балансу мощностей в энергосистеме

$$\sum_{\gamma=1}^r P_{i\gamma}^{II} + \sum_{j=1}^m N_{ГЭС\ i\gamma}^{II} - \sum_{\gamma=1}^r P_{ni\gamma}^{II} - \pi_i = 0; \quad (8)$$

$$\sum_{\gamma=1}^r P_{i\gamma} + \sum_{j=1}^m N_{ГЭС\ i\gamma} - \sum_{\gamma=1}^r P_{ni\gamma} - \pi_i = 0; \quad (9)$$

$$\sum_{\gamma=1}^r P_{i\gamma}^I + \sum_{j=1}^m N_{ГЭС\ i\gamma}^I - \sum_{\gamma=1}^r P_{ni\gamma}^I - \pi_i = 0; \quad (10)$$

- по предельным мощностям ГЭС и ТЭС

$$P_{min\ i\gamma}^{II} \leq P_{i\gamma}^{II} \leq P_{max\ i\gamma}^{II}; \quad P_{min\ i\gamma}^I \leq P_{i\gamma}^I \leq P_{max\ i\gamma}^I;$$

$$N_{ГЭС\ min\ ij}^{II} \leq N_{ГЭС\ ij}^{II} \leq N_{ГЭС\ max\ ij}^{II}; \quad N_{ГЭС\ min\ ij}^I \leq N_{ГЭС\ ij}^I \leq N_{ГЭС\ max\ ij}^I;$$

- по предельным перетокам по контролируемым ВЛ

$$P_{l\ min\ il}^{II} \leq P_{l\ il}^{II} \leq P_{l\ max\ il}^{II}; \quad P_{l\ min\ il}^I \leq P_{l\ il}^I \leq P_{l\ max\ il}^I.$$

Приняты следующие обозначения:  $P_{ni}^{II}$ ,  $P_{ni}$ ,  $P_{ni}^I$  – максимальная, средняя и минимальная нагрузка объединённой энергосистемы в  $i$ -м интервале;  $P_{i\gamma}^{II}$ ,  $P_{i\gamma}$ ,  $P_{i\gamma}^I$  – аналогичные нагрузки ТЭС ( $\gamma = \overline{1, r}$ );  $N_{ГЭС\ ij}^{II}$ ,  $N_{ГЭС\ ij}$ ,  $N_{ГЭС\ ij}^I$  – аналогичные нагрузки  $j$ -й ГЭС ( $j = \overline{1, m}$ );  $P_{l\ il}^{II}$ ,  $P_{l\ il}$ ,  $P_{l\ il}^I$  – аналогичные потоки мощности по  $l$ -й ВЛ ( $l = \overline{1, L}$ );  $\pi$  – потери мощности в сетях.

Поставленная задача решается методом проекции градиента. Для проектирования точек на поверхности ограничений используется модифицированный алгоритм Хилдрета, который имеет некоторые преимущества по сравнению с другими алгоритмами проектирования для задач большей размерности.

В работах [1, 3, 4] в качестве критерия оптимальности предлагается определить минимум эксплуатационных затрат по системе  $I_c$ . Исходя из того, что система состоит из  $j$  гидравлических и  $K$  тепловых электростанций, режимы которых подлежат оптимизации. Критерием оптимальности являются эксплуатационные затраты по системе  $I_c$ .

При использовании критерия издержек на топливо предлагается уравнение:

$$I_c = \sum C_t B_t(P_{ТЭС, t}) \Delta \tau_t, \quad (11)$$

где  $B(P_{ТЭС})$  – расходная характеристика эквивалентных ТЭС системы;  $C$  – цена единицы топлива, расходуемого на ТЭС;  $T = 1, 2, \dots, m$  – номер расчётного интервала времени длительностью  $\Delta \tau$ .

Далее преобразуется уравнение цели и вводится в него параметры, характеризующие режимы ГЭС и водохранилища [5]. Мощность  $j$ -й ГЭС в любой момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$P_{ГЭС,jt} = 9,81\mu_{jt}Q_{jt}H_{jt}, \quad (12)$$

а расход ГЭС

$$Q_{jt} = Q_{быт,jt} \pm Q_{в,jt} \quad (13)$$

т.е. расход определяется бытовой проточностью и зарегулированным расходом водохранилища.

В любой момент времени  $t$  периода  $T$  мощность всех ГЭС системы, режим которых оптимизируется, определяется по следующему балансовому соотношению мощностей в системе:

$$P_{ГЭС t} = P_{ct} - \sum P_{ГЭС,jt} + \pi_t, \quad (13)$$

где  $P_{ct}$  – заданные нагрузки системы;  $\pi_t$  – потери мощности в сети.

Используя (12) и (13), формируется уравнение цели, в которое входит величина  $Q_{в}$ , определяющая режим водохранилища, т.е.

$$I_c = \sum C_t B_t [P_{ct} - \sum 9,81\mu_{jt}(Q_{быт,jt} \pm Q_{в,jt})H_{jt} + \pi_t] \Delta \tau_t \rightarrow \min. \quad (14)$$

Параметрами регулирования предлагаются также сток водохранилища и уровни верхнего бьефа. Ограничения уровней нижнего бьефа определяются комплексным использованием водных ресурсов гидроузла.

Таким образом, приведенные модели могут использоваться для обоснования параметров и режимов работы составляющих ГЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Веников В.А., Журавлева В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Гидроэнергетические установки / Д.С. Щавелев, Ю.С. Васильев, В.И. Виссарионов, Б.Н. Михалев, Г.А. Претро, М.П. Федоров, И.А. Чернятин, Г.С. Щеголев. М.: Энергоиздат. 1981.
3. Легалов Д.И. Методика планирования долгосрочных оптимальных режимов электроэнергетических систем с ГЭС, основанная на методе динамического программирования: автореф. дис. канд. техн. наук / Иркутск. 2005.
4. Цветков Е.В., Алябышева Т.М., Парфенов Л.Г. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учеб. пособие. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.

УДК 620.8, 621.311, 502.174.3

К.С. Джураев, Ф.Т. Шадибекова, Э.Д. Исмоилов  
Ташкентский государственный технический университет  
Абдуазиз уулу Абдурауф  
Наманганский инженерно-технологический институт

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛеной» ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

*Цель работы* – определение перспектив развития «Зеленой» энергетики в Республике Узбекистан.

«Зеленая» энергетика – часть энергопроизводящей системы, основу которой составляют неисчерпаемые или возобновляемые в масштабах человечества природные ресурсы. К источникам «зеленой» энергетики относят ветер, солнечный свет, водные потоки, гейзеры, биотопливо. Кроме неисчерпаемости преимуществом таких источников энергии является их



экологичность. Предполагается, что «зеленая» энергетика поможет смягчить негативное влияние глобальных мегатрендов – урбанизации и смены климата. В настоящий момент наиболее распространёнными и используемыми возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) являются гидроэнергетика, солнечная энергия, энергия ветра, биоэнергетика, геотермальная энергия и энергия приливов и отливов [1].

По данным Международного энергетического агентства (МЭА) под эгидой ООН за 2022 г. доля выработки энергии из ВИЭ в странах, имеющих членство в Агентстве и ассоциированных странах, составляет 28% [2]. По среднесрочному прогнозу МЭА ввод мощностей из альтернативных источников будет неуклонно возрастать и к 2030 г. должен достигнуть не менее 35% относительно совокупной нетто-мощности [2].

В последние десятилетия Узбекистан достиг впечатляющего экономического роста во многом благодаря горнодобывающей и обрабатывающей промышленности. Однако этот рост имеет значительные последствия. Так по данным Всемирного банка, страна занимает пятое место в мире по интенсивности выбросов парниковых газов и самое высокое в Европе и Центральной Азии из-за использования ископаемого топлива для получения энергии и энергоёмкого характера промышленного сектора [3].

Еще одной областью, вызывающей обеспокоенность, является сектор коммерческого и жилого строительства. Во всем мире на строительный сектор (использование электрической и тепловой энергии для освещения, отопления, горячего и холодного водоснабжения) приходится около 40% от общего объема выбросов парниковых газов. Этот средний показатель применим и к Узбекистану, где, согласно первому двухгодичному обновленному отчету Узбекистана по РКИК ООН, на промышленность и строительство приходится 22% от общего объема потребляемой в стране энергии, а на потребление в жилом секторе – 21%.

С ежегодным ростом количества населения Узбекистана увеличивается и спрос на энергию. В итоге, по мере роста потребностей страны в энергоресурсах, растущий спрос на энергию должен предпочтительно обеспечиваться за счет возобновляемых источников, обеспечивая одновременно энергоснабжение, устойчивое развитие и выполнение обязательств страны в рамках Парижского соглашения по изменению климата.

В последние годы в Узбекистане ведется огромная работа по сокращению вредного воздействия на окружающую среду объектов электроэнергетики. Так, в упомянутом выше постановлении Президента от 22 августа 2019 года (в приложении о целевых параметрах) намечено увеличение доли возобновляемой электроэнергии с нынешних 10 до 25% от объема генерации. Утверждена Комплексная программа дальнейшего повышения энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрения энергосберегающих технологий и развития возобновляемых источников энергии в Республике Узбекистан в 2019–2022 гг. [4].

В целях развития использования возобновляемых источников энергии на основании постановления Президента Республики Узбекистан от 2 декабря 2022 года ПП-436 «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан на «зеленую» экономику до 2030 года» [5]. В период 2020–2030 гг. будет уделено особое внимание развитию генерации на основе ВИЭ, особенно солнечной энергии. Эти проекты будут осуществляться исключительно за счет средств инвесторов – независимых производителей электрической энергии.

Следует отметить, что в результате планомерной работы к 2026 г. в Узбекистане начнут работать солнечные и ветровые электростанции общей мощностью более 8000 МВт, гидроэлектростанции мощностью 868 МВт [6].

Республика Узбекистан, в которой приблизительно 320 дней в году солнечные, обладает наиболее высоким потенциалом именно в развитии солнечной энергетике, общий потенциал которой составляет 2058 млрд кВт·ч. Наибольшим потенциалом в этом направлении обладают

Сурхандарьинская, Бухарская и Кашкадарьинская области, где средняя выработка на панель составляет 1680–1700 кВт·ч в год. Средний уровень солнечной радиации в Каракалпакстане, Сырдарьинской и Ташкентской областях, а наименьший – в областях Ферганской долины. В настоящее время для освоения потенциала солнечной энергетики реализуются 8 проектов государственно-частного партнерства с выработкой 4,3 млрд кВт·ч (1,6 ГВт) на 1,3 млрд долл. США [6].

В Узбекистане также имеется высокий потенциал ветровой энергетики в северо-западной и юго-западной частях республики, валовый потенциал которой, по различным оценкам, может составлять от 22 до 4 090 млрд кВт·ч, технический – более 9,9 млрд кВт·ч, самый высокий – в Каракалпакстане (4,4 млрд кВт·ч), Навоийской (2,9 млрд кВт·ч), Бухарской (1 млрд кВт·ч) областях. Реализация потенциала ветровой энергетики позволит экономить 3,3 млрд м<sup>3</sup> природного газа в год. В последнее время в этом направлении реализуются 7 проектов ГЧП с выработкой 11,3 млрд кВт·ч (3,1 ГВт) на 3,6 млрд долл. США.

Следует отметить, что развитию «зеленой экономики», в частности, «зеленой энергетики» в Узбекистане уделяется особое внимание. В связи с этим был предпринят смелый шаг по увеличению объемов производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии. В частности, за последние 4-5 лет было подписано 21 соглашение с международными компаниями о строительстве солнечных и ветряных электростанций общей мощностью 7047 МВт и 5 контрактов на транспортировку электроэнергии, произведенной для собственных нужд, общей мощностью 2030 МВт. В целях обеспечения реализации этих проектов Президентом Республики Узбекистан было подписано 15 указов. Так, в настоящее время реализуются 19 проектов в области солнечной энергетики общей мощностью 3977 МВт и 7 ветроэлектростанций общей мощностью 3100 МВт. Эти инвестиционные проекты осуществляются следующими компаниями: “ACWA Power” из Саудовской Аравии, “Masdar” из Объединенных Арабских Эмиратов, “Total Eren” и “Voltaia” из Франции, “Gezhouba Overseas Investment Group” из Китая и “Tepelen Group AG” из Швейцарии. Общая стоимость этих проектов составляет более 9 млрд дол. США, и все они будут реализованы иностранными компаниями за счет прямых инвестиций. В результате принятых мер, в августе 2021 г. в Карманинском районе Навоийской области была запущена первая в Узбекистане крупная солнечная фотоэлектрическая станция (СФЭС) мощностью 100 МВт (рис. 1). Аналогичным образом, в мае 2022 г. в Нурабадском районе Самаркандской области начала работу вторая СФЭС мощностью 100 МВт (рис. 2).



Рис. 1. СФЭС мощностью 100 МВт в Карманинском районе Навоийской области



Рис. 2. СЭФЭС мощностью 100 МВт в Нурабадском районе Самаркандской области

Кроме того, в 2023-2024 гг. будут введены в эксплуатацию 7 солнечных и ветровых электростанций общей мощностью 2797 МВт, в том числе в г. Шерабаде Сурхандарьинской области, г. Галляарале Джизакской области, г. Каттакургане Самаркандской области,

Томдинском районе Навоийской области, Юкори-Чирчикском районах Ташкентской области, а также в Кашкадарьинской, Бухарской и Наманганской областях, а 2025 г. в Пешкинском и Гиждуванском районах Бухарской области 2 ВЭС мощностью по 500 МВт каждая, в 2026 г. в Республике Каракалпакстан 4 ВЭС общей мощностью 1600 МВт. В настоящее время в Республике Каракалпакстан продолжается тендер на строительство ветроэлектростанции мощностью 200 МВт.

В «...Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 гг.» [7] намечены следующие цели: увеличение к 2026 г. объема выработки электроэнергии дополнительно на 30 млрд кВт·час, доведение доли возобновляемых источников энергии к 2026 г. до 25%, сокращение объема выброса вредных газов в атмосферу на единицу ВВП отраслями экономики на 10%. А по оценкам ЕБРР, приведенным в «Дорожной карте перехода Узбекистана к низкоуглеродной энергетике до 2040 г.», мощности ВИЭ должны достигнуть 47 ГВт, а к 2050 г. – 97 ГВт, а мощности хранилищ электроэнергии – 15 ГВт (39 ГВт).

*Выводы:* широкое использование возобновляемых источников энергии экономит природные ресурсы и уменьшает размер ущерба, наносимого природе. Это помогает разгрузить энергосети, предотвратить аварии, снизить технологические потери, а самое главное, активизируется процесс перехода на экологически чистую, «зеленую» энергию. Такие усилия важны не только для настоящего периода, но и для будущего.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковальская А.Э. Современные тенденции развития «зеленой» энергетики / Вестник Таганрогского института управления и экономики, 2023, № 1, с. 15–22.
2. Международной энергетической агентств. Отчет о возобновляемых источниках энергии-2022. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022/executive-summary>.
3. <https://www.undp.org/ru/uzbekistan/blog/uzbekistan-na-puti-dostizheniya-klimaticheskikh-celey-prodvigaya-energoeffektivnost-i-solnechnuyu-elektroenergiyu-v-zhilom-sektore>
4. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22.08.2019 г. <https://lex.uz/ru/docs/4486127>
5. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-436 «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход республики Узбекистан на «зеленую» экономику до 2030 года» от 02.12.2022 г. <https://lex.uz/ru/docs/6303233>
6. <https://eenergy.media/archives/27082>
7. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» от 28.01.2022 г.

УДК 621.311.48

М.М. Мухаммадиев, С.К. Гадаев, Н.З. Дилмуродова  
Ташкентский государственный технический университет

### СВОБОДНОПОТОЧНАЯ МИКРОГЭС ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОПОТЕНЦИАЛА КАНАЛОВ

*Целью работы* является применение свободнопоточной микроГЭС в ирригационных каналах.

Мировое производство электроэнергии и тепловой энергии из углеводородного топлива, такого как нефть, газ и уголь, привело к загрязнению окружающей среды и резкому сокращению запасов природного топлива, на восполнение которых потребуются миллионы лет, а это означает, что произойдет кризис в энергоснабжении. В ближайшем будущем станет

важным разработку и внедрение энергетических устройств на основе возобновляемых источников энергии.

На сегодняшний день крупных ГЭС с высоким напором почти нет, но практически во всех регионах имеется множество источников воды с низким напором и свободным течением воды. Поэтому в сфере гидроэнергетики создание микроГЭС нового поколения, эффективно работающих даже в условиях низкого давления и свободных потоков воды, а также совершенствование существующих является актуальным.

В связи с этим в стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы в сфере использования альтернативных энергоресурсов в нашей стране путем активного внедрения технологий «Зеленой экономики» во всех отраслях будут приняты меры по повышению энергоэффективности экономики на 20% и сократить количество вредных газов, выбрасываемых в воздух, на 20% к 2026 г. Кроме того, в Стратегии определены задачи расширения и поддержки использования возобновляемых источников энергии [1].

Для решения этих задач государство выделяет большие финансовые средства. Так в перечень инвестиционных проектов входит строительство 42 новых и модернизация 32 действующих объектов водного хозяйства. Важным преимуществом малой гидроэнергетики является то, что объекты возможно устанавливать в отдаленных уголках, куда сложно и дорого тянуть линии электропередачи. Такие установки позволяют сделать осуществлять бесперебойное энергоснабжение, открыть новые предприятия, улучшить работу фермерских хозяйств и повысить качество жизни людей [2–4].

Свободнопоточные микроГЭС позволяют более экономично, чем другие варианты, решать проблему электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, в особенности удаленных от линий электропередач, с помощью ГЭС малой мощности или микроГЭС при наличии большого количества рек с необходимым запасом гидроресурсов [5]. Мощность свободнопоточной микроГЭС может быть рассчитана по уравнению:

$$N = 9,81HQ\eta,$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напор, м;  $\eta$  – КПД машины в относительных единицах.

Поток воды несет с собой кинетическую энергию, и напор воды здесь будет выражаться скоростным напором:  $H = V^2/2g$ .

Расход воды через турбину диаметром  $D_1$  равен:

$$Q = \frac{\pi \cdot D_1^2 \cdot V}{4},$$

здесь  $V$  – скорость потока в м/с.

Подставляя значения расхода и напора в формулу мощности, получаем:

$$N = 0,393\eta V^3 D_1^2.$$

Согласно данным, даже в удачно спроектированных турбинах КПД не превышает  $\eta = 0,25$ . Окончательно имеем следующее выражение для определения мощности свободнопоточной микроГЭС:

$$N = 0,1V^3 D_1^2.$$

Скорость течения равнинных рек равна примерно 0,6–1,0 м/с, повышаясь в быстротоках, или в половодье до 2,5 м/с. В оросительных каналах с земляными руслами скорость обычно допускается не больше 1,0 м/с. Лишь на отдельных участках некоторых крупных рек и каналов в предгорных районах она повышается до 3,0 м/с.

Предлагаемые установки основаны на использовании кинетической энергии потока и называются свободнопоточными микроГЭС [6, 7]. МикроГЭС установлена на бетонном лотке с высотой 2000 мм и шириной 2000 мм, где протекает очищенная сбросная вода, где уровень воды в лотке 610-1210 мм со скоростью водного потока 1,282 м/с, а объем сбрасываемой воды через лоток 1,56-3,20 м<sup>3</sup>/с и разница уровня воды от лотка до места установки микроГЭС – 3,2-3,5 м (рис. 1). Основные технические параметры представлены в табл. 1.



Рис. 1. Процесс испытания новой конструкции микроГЭС

Таблица 1 – Основные технические параметры МикроГЭС

Мощность, кВт	10
Номинальная активная мощность, кВт	8,0
Максимальная вырабатываемая мощность, кВт	10,0
Номинальный ток, А	13,0
Номинальное выходное напряжение (фазы/линии), В	220/380 или 230/400
Частота в электросети, Гц	$50 \pm 2$
Максимальный выходной ток, А	15,2 (380 В) и 14,5 (400 В)
Частота вращения, об/мин.	1500
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	0,095–0,200

Однако необходимо отметить, что невысокий энергетический потенциал водотока, обусловленный использованием скоростного напора, ограничивает возможности свободнопоточных микроГЭС по увеличению мощности.

Это утверждение можно наглядно доказать следующим образом. Примем для удобства расчетов  $V = 1$  м/с. Тогда в зависимости от диаметра рабочего колеса получаем мощности установки, указанные в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость мощности свободнопоточной микроГЭС от диаметра рабочего колеса

$D_1$ , м	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0
$N$ , кВт	0,006	0,025	0,1	0,4	0,9	1,6	2,5	10,0

Таким образом, используя современные технические решения можно получить ощутимую мощность на свободнопоточной микроГЭС. Однако практическое размещение подобного рабочего колеса в реке трудно представить.

Из этого следует, что для получения мощности 10 кВт установка должна иметь диаметр рабочего колеса 10 м.

*Выводы.* В настоящее время гидроэнергетика по сравнению с другими источниками энергии экологически безопасна и экономична. Строительство микроГЭС не портит природный ландшафт и окружающую среду, в том числе не влияет на условия жизни животных на суше и в водной среде, вода полностью сохраняет своё качество. Предлагаемая конструкция свободнопоточной микроГЭС полностью соответствуют условиям малых водотоков Узбекистана. Простота конструкции и эксплуатации позволяют рекомендовать её внедрение на всей территории страны, особенно в отдаленных и сельских районах

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 8 апреля 2022 года № УП-101 «Об очередных реформах по созданию условий для стабильного экономического роста путем улучшения предпринимательской среды и развития частного сектора».
2. Гидроэлектростанции, построенные по проектам АО «Гидропроект». Проверено 16 января 2018.
3. Концепция развития гидроэнергетической отрасли Республики Узбекистан на долгосрочную перспективу до 2029 года. – АО «Узбекгидроэнерго». 14.XI.2018 г.
4. Масштабная созидательная работа: вчера и сегодня. Узбекгидроэнерго. Проверено 18 апреля 2018.
5. Гетманов В.Н. Индивидуальная энергоустановка мощностью 1 кВт на основе бесплотинной микроГЭС. Изд. Президиума СО РАН, Новосибирск, 51–54, 2001.
6. Патент IАРN 03639. Свободнопоточной микроГЭС / Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. и др. / 14.10.2004.
7. <http://www.miniges.com>

УДК 621.311

А.А. Мукольянц, Ж.М. Низомов  
Ташкентский государственный технический университет

### КОМПЛЕКСНАЯ СХЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

*Цель работы* – комплексной использование части вторичных энергетических ресурсов компрессорной станции.

Добыча и транспортировка газа является одной из самой энергоемкой отраслью. Увеличивающаяся добыча газа влечет за собой увеличение потребления топливного газа и соответственно увеличение выхода вторичных энергетических ресурсов в системе газоснабжения.

В настоящее время на компрессорных станциях (КС) топливный газ для газоперекачивающих агрегатов (ГПА) отбирается из магистрального газопровода на входе в КС с давлением 4,5–6,5 МПа (рис. 1). Далее он очищается и дросселируется перед подачей в камеру сгорания до давления 1,5–2,5 МПа. При необходимости топливный газ подогревается [1, 2]. Эту схему использования топливного газа на КС можно дополнить детандер-генераторным агрегатом (ДГА) с целью использования энергии избыточного давления газа, заменяя процесс дросселирования детандированием [3].

При адиабатном расширении газа в детандере энтальпия потока не изменяется, но происходит уменьшение внутренней энергии и, соответственно, температуры. Энергия избыточного давления преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую, вырабатываемую на валу электрогенератора. При этом можно получить два полезных потока: электроэнергия, которая может вырабатываться в ДГА и поток охлажденного в ДГА газа. В свою очередь, в процессе компримирования газа происходит увеличение его температуры, что неблагоприятно сказывается на эффективности транспорта газа. Для предотвращения непрерывного нагревания газа по мере транспортирования по магистральному трубопроводу схемой компрессорного цеха предусмотрено охлаждение газа после компримирования. Обычно газ охлаждают в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), которые затрачивают значительную часть электроэнергии на привод вентиляторов [4, 5].

Предлагается утилизировать теплоту транспортируемого газа после компримирования для подогрева потока охлажденного топливного газа после ДГА. Это решение позволяет частично отказаться от использования АВО газа и получить бестопливную схему энерготехнологического комплекса на базе ДГА для выработки электроэнергии.

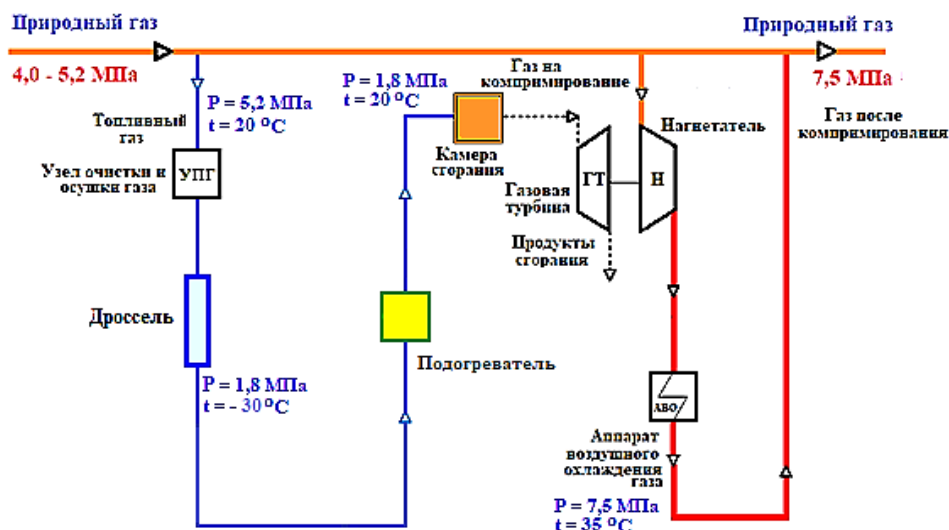


Рис. 1. Существующий энерготехнологический комплекс на КС

Разработанная схема (рис. 2) утилизации ВЭР на КС магистральных газопроводов предполагает использование энергии избыточного давления топливного газа и части потока теплого транспортируемого газа после компримирования для подогрева холодного топливного газа после ДГА.

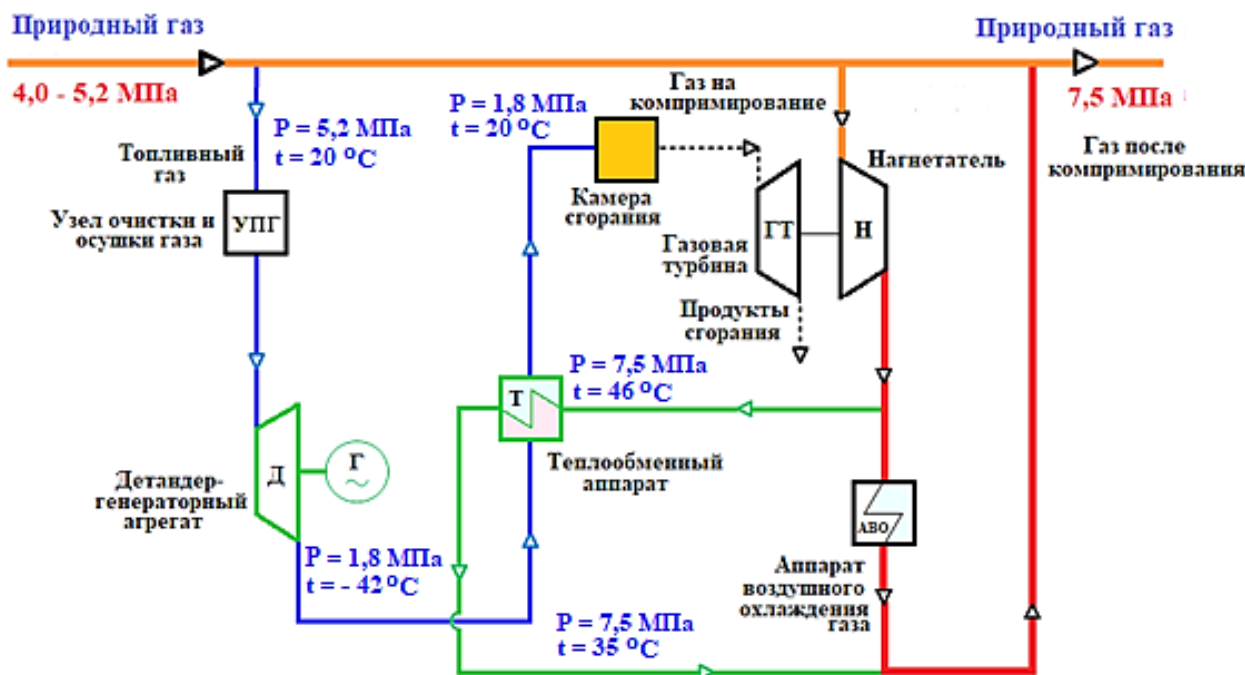


Рис. 2. Разработанная схема энерготехнологического комплекса на базе ДГА на КС

В структуре парка газоперекачивающих агрегатов наиболее распространенными ГПА с газотурбинным приводом являются ГПА-Ц-16.

Рассчитаем основные показатели работы энерготехнологического комплекса для предлагаемой схемы с использованием газотурбинной установки ГПА-Ц-16.

Исходные данные, принятые для расчета: давления на входе и выходе станции технологического понижения давления топливного газа – 5,2/1,8 МПа; расход топливного газа 1,2 кг/с; температура в коллекторе топливного газа КС 20 °С; температура газа после АВО –

35 °С; внутренний относительный КПД детандера – 0,85; электромеханический КПД генератора – 0,95; КПД теплообменного аппарата – 0,95; массовый расход природного газа  $G$ , через ГРП, кг/с: 15,0 кг/с.

Номинальная располагаемая мощность  $N_{\text{ДГА}}$ , кВт, которая может быть получена при помощи ДГА:

$$N_{\text{ДГА}} = G \cdot H_{\text{Ад}} \cdot \eta = 15,0 \cdot 458,1 \cdot 0,7533 = 5176 \text{ кВт},$$

где  $G$  – массовый расход природного газа, кг/с;  $H_{\text{Ад}}$  – перепад энтальпии, кДж/кг;  $\eta$  – общий КПД ДГА:

$$\eta = \eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_0 = 0,93 \cdot 1 \cdot 0,81 = 0,7533,$$

где  $\eta_{\text{ген}} = 0,93$ ;  $\eta_{\text{мех}} = 1$ ;  $\eta_0 = 0,81$ .

Годовая выработка электроэнергии ДГА:

$$W_{\text{ДГА}} = N_{\text{ДГА}} \cdot 24 \cdot \tau = 5176 \cdot 24 \cdot 350 = 43\,478\,400 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

где  $\tau$  – продолжительность работы ДГА в году;  $\tau = 350$  дней.

Среднегодовой тариф на покупную электроэнергию  $C_{\text{ээ}} = 450$  сум/кВт·ч.

Снижение затрат:

$$\Delta\Pi_{\text{ДГП}} = W_{\text{ДГА}} \cdot C_{\text{ээ}} = 43\,478\,400 \cdot 450 = 19\,565\,280\,000 \text{ сум/год} / 1\,707\,714 \text{ долл./год}.$$

Графики зависимости мощности ДГА от расхода и давления газа представлены на рис. 3 и 4.



Рис. 3. График зависимости мощности ДГА от расхода газа

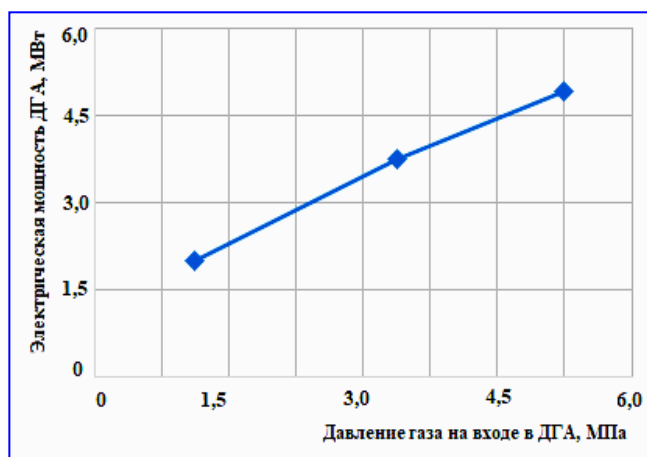


Рис. 4. График зависимости мощности ДГА от давления газа на входе

Таким образом, предложенная схема позволяет комплексно использовать часть вторичных энергетических ресурсов компрессорной станции, а именно: полезно использовать нереализованный потенциал избыточного давления топливного газа на КС для выработки электроэнергии в ДГА для собственных нужд станции или продажи сторонним потребителям; использовать часть потенциала тепловых ВЭР нагнетателей природного газа, подогревая охлажденный поток топливного газа после ДГА частью потока газа после компримирования; получить экономию покупной электроэнергии на компрессорной станции на привод вентиляторов АВО за счет охлаждения части потока газа после компримирования потоком охлажденного топливного газа после ДГА.



#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Байков И.Р. Энерготехнологический комплекс на базе детандер-генераторных агрегатов на компрессорной станции / И.Р. Байков, Р.А. Молчанова, А.Р. Гатауллина / Территория НЕФТЕГАЗ. 2015. № 6. С. 114–118.
2. Зацепин С.С., Купцов С.М. Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях / Территория НЕФТЕГАЗ. 2016, № 12, С. 50–53.
3. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Эргашева Д.К., Таубалдиев А.А. Детандер-генераторная установка для утилизации энергии избыточного давления природного газа / E3S Web of Conferences. 2021, 289, 07034. doi.org/10.1051/e3sconf/202128907034
4. Клименко А.В., Агабабов В.С., Борисова П.Н., Петин С.Н. Термодинамическая эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа / Теплофизика и аэромеханика. 2017. 24, С. 964–968.
5. Гатауллина А.Р. Повышение энергоэффективности системы газоснабжения за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов: дис...канд. техн.наук: 25.00.19, Уфа, 2016.

УДК 697.7

А.М. Васильева, А.С. Короткова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭКОНОМИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Повышение энергоэффективности инженерных систем в настоящее время является одной из стратегических задач в строительной отрасли. Это объясняется неэффективным использованием энергетических ресурсов и постоянным ростом их стоимости, что приводит к значительному удорожанию эксплуатации здания. Важным аспектом проектирования систем отопления современных зданий является повышение их энергоэффективности.

*Цель исследования* заключается в подборе целесообразной энергоэффективной системы отопления с тепловыми насосами для проектируемого высотного здания с учетом сопутствующих факторов – климатических и природно-ресурсных условий строительства, энергетических нагрузок и стоимости системы.

Применение передовых энергосберегающих технологий и нетрадиционных источников энергии позволяет решить одну из наиболее актуальных проблем – нерациональное потребление топливно-энергетических ресурсов. Одним из перспективных направлений является использование тепловых насосов в системах отопления и вентиляции проектируемого здания. Среди экологически чистых энергосберегающих технологий этот подход наиболее широко распространен во многих странах мира.

Принцип работы компрессионного теплового насоса основан на двух физических явлениях [1]:

- 1) тепловой обмен при испарении и конденсации, сопровождающийся поглощением/выделением теплоты;
- 2) влияние изменения давления на температуру испарения и конденсации.

В связи с этим в тепловых насосах используются жидкости, имеющие низкую температуру кипения.

Одна из ключевых стоящих перед проектировщиком задач – выбор используемого источника теплоты насоса. Тепловые насосы используют в качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты вторичные энергетические ресурсы [2]. Среди них тепло серых канализационных стоков и вентиляционных выбросов, а также нетрадиционные возобновляемые источники энергии, такие как тепло окружающего воздуха, грунтовых и геотермальных вод, водоемов и природных водных потоков, а также тепло солнечной энергии, глубинных и поверхностных слоев грунта. Анализируя почвенно-климатические условия

места застройки будущего объекта и требуемую выработку тепловой энергии, можно подобрать наиболее эффективный в работе тепловой насос.

В климатических условиях Ленинградской области рационально использовать геотермальные тепловые насосы «грунт-вода» с закрытым контуром, забирающие тепло из поверхностных слоев земли [3]. Получение тепла из грунта технически осуществляется через вертикальные (термоскважины глубиной от 10 до 250 м) или горизонтальные (на глубине от 1,2 до 2,0 м) грунтовые теплообменники или энергетические сваи глубиной 5–45 м.

Перед проектированием и установкой теплового насоса необходимо провести анализ и оценить потенциальные энергетические возможности грунта как низкопотенциального источника. Выбор грунтового теплообменника производится на основании графиков распределения температур грунта в течение года. В среднем на глубине 10–15 м температура грунта не претерпевает значительных изменений, что делает систему с тепловыми насосами автономной от сезонных колебаний погодных условий.

Оценка эффективности работы теплового насоса производится согласно коэффициенту преобразования, на основании которого рассчитываются затраты на систему отопления [4]. Коэффициент преобразования теплового насоса (COP) – это отношение тепловой мощности, полученной при использовании теплового насоса, к потребляемой им электрической мощности. Чем выше значение COP, тем эффективнее работает тепловой насос. Диапазон значений данного показателя варьируется для различных установок и составляет промежуток от 2 до 5, то есть тепловой насос произведет в 2–5 раз больше энергии, чем затратит.

Экономическая выгода от применения энергоэффективной системы отопления рассматривается на примере жилого здания, расположенного в городе Тампере (Финляндия) [5]. Учеными было проведено исследование-сравнение системы отопления и вентиляции при использовании теплонаносной установки и при обычном источнике энергии – электричестве. В ходе наблюдения годовой расход энергии при электрическом отоплении достигал 14 700 кВт·ч, а при отоплении с использованием ТНУ – 9 100 кВт·ч, что дало 38% экономии. По полученным расчетам срок окупаемости принятой установки с тепловыми насосами составит 4–4,5 года.

*Выводы.* Использование тепловых насосов может принести значительные экономические выгоды и быть экономически целесообразным по ряду причин:

1. Тепловые насосы могут значительно снизить энергозатраты на отопление и охлаждение помещений, по сравнению с традиционными системами отопления и кондиционирования воздуха.

2. Тепловые насосы позволяют использовать окружающую среду в качестве источника тепла или холода, что делает их более эффективными и экономичными по сравнению с системами, работающими на газе или электричестве.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Половинкина Е.О. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий и сооружений / Мат-лы VI Междунар. студенческой научной конф. «Студенческий научный форум 2014».
2. Тепловые насосы: учеб. пособие / С.З. Сапожников [и др.]; под ред. С.З. Сапожникова. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.
3. Методические рекомендации по использованию теплоты грунтового массива: методические рекомендации / сост. И.М. Абуев, Г.П. Васильев, В.Ф. Горнов, А.С. Горшков, М.В. Колесова, В.А. Лесков, И.А. Юрченко, М.: ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», 2019.
4. Чернышов Д.А. Обоснование применения тепловых насосов в системах теплоснабжения общественных и жилых зданий Ленинградской области: магист. дис. 08.04.01. СПб, 2016.
5. Потанин А.В., Закиров Д.В., Чадов Ю.Н., Николаев В.А. Тепловые насосы в теплоснабжении зданий и сооружений / Потанин А.В., Закиров Д.В., Чадов Ю.Н., Николаев В.А. [Электронный ресурс] // cyberleninka : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplovye-nasosy-v-teplosnabzhenii-zdaniy-i-sooruzheniy/viewer> (дата обращения: 16.12.2023).

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ  
СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

*Цель работы* – разработать методику расчета коэффициента ускорения для испытаний стеновых панелей модульных конструкций в климатической камере, имитирующих долговременное воздействие окружающей среды.

Тепловые характеристики стеновых панелей имеют первостепенное значение при определении энергоэффективности и теплового комфорта зданий, влияя как на отопительную, так и на охлаждающую нагрузку [1]. Испытания стеновых панелей в климатических камерах представляют собой процесс, направленный на имитацию различных атмосферных условий, таких как, солнечный свет, температура, влажность и осадки. Такое экспонирование позволяет оценить поведение материалов и конструкций в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным. Кроме того, на данный момент отсутствуют научно-обоснованные методики по проведению ускоренных испытаний для стеновых панелей, модульных конструкций.

Для определения продолжительности испытания стеновой панели в климатической камере, необходимо рассчитать коэффициент ускорения испытаний, показывающий, во сколько раз уменьшается время испытаний по сравнению с заданным сроком эксплуатации.

Программа испытаний стеновых панелей модульных зданий выбрана согласно ASTM G155-13[2] и ГОСТ 28205-89 «Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Руководство по испытанию на воздействие солнечной радиации». 12-часовой цикл состоит из:

1. 8 часов воздействия УФ-излучением при температуре черной панели 63°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ );
2. 4 часа высокой влажности (100% относительной влажности) при 55°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) температуре черной панели. Каждые 2 часа, в течение 18 минут осуществляется орошение водой.

Коэффициент ускорения испытания рассчитывается на основе комбинации коэффициентов ускорения от воздействия каждого из климатических факторов. Для расчета коэффициента ускорения старения были использованы: уравнение Аррениуса, модель Пека [4, 5] и пропорция между ультрафиолетовым излучением во время испытания и естественным излучением во время эксплуатации. Комбинируя эти подходы, можно получить более точную оценку коэффициента ускорения, учитывая различные факторы, влияющие на процесс старения:

$$AF_{UV+t/RH} = \frac{1}{3}(AF_{T_1}AF_H) + \frac{2}{3}(AF_{T_2}AF_{UV}),$$

где  $AF_{UV+t/RH}$  – комбинированный коэффициент ускорения УФ-излучения, температуры и влажности;  $AF_{T_1}$  – коэффициент температурного ускорения в течение 4-часового испытательного цикла;  $AF_H$  – коэффициент ускорения от воздействия влажности;  $AF_{T_2}$  – коэффициент температурного ускорения в течение 8-часового испытательного цикла;  $AF_{UV}$  – коэффициент ускорения от воздействия ультрафиолетового излучения.

Коэффициент температурного ускорения вычислялся через уравнение Аррениуса, которое устанавливает соотношение между временем воздействия при экспериментальной температуре и температурой эксплуатационных условий:

$$AF_T = e^{-\frac{E_A}{R}\left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U}\right)},$$

где  $AF_T$  – коэффициент температурного ускорения;  $E_A$  – энергия активации механизма разрушения;  $R$  – газовая постоянная;  $T_A$  – температура ускорения в Кельвинах,  $T_U$  – температура условий эксплуатации в Кельвинах.

В конструкции стеновой панели материалом, наиболее подверженным изменениям от климатических факторов, является теплоизоляционный слой, который чаще всего представлен минеральной ватой. Поэтому принимается энергия активации, соответствующая минеральной вате, равная 68,13 кДж/моль [6]. Предполагается, что энергия активации не обусловлена изменением температуры и имеет постоянное значение. Подобный подход обусловлен тем, что в рассматриваемых температурных диапазонах, характерных для строительных изоляционных материалов, влияние температуры на энергию активации считается незначительным [3].

Согласно СП 131.13330.2018 «Строительная климатология» среднегодовая температура в г. Санкт-Петербург равняется 5,4°С.

$$AF_{T1} = e^{-\frac{E_A}{R}(\frac{1}{T_{A1}} - \frac{1}{T_U})} = 2,718^{-\frac{68130}{8,314}(\frac{1}{336} - \frac{1}{278,4})} = 214,73;$$

$$AF_{T2} = e^{-\frac{E_A}{R}(\frac{1}{T_{A2}} - \frac{1}{T_U})} = 2,718^{-\frac{68130}{8,314}(\frac{1}{328} - \frac{1}{278,4})} = 114,02.$$

Коэффициент ускорения от воздействия ультрафиолетового излучения  $AF_{UV}$  вычисляется по формуле

$$AF_{UV} = \frac{\Phi_{lab}}{\Phi_{nat}} = \frac{1200}{186,13} = 6,44,$$

где  $\Phi_{lab}$  – общая энергия УФ-излучения в климатической камере;  $\Phi_{nat}$  – энергия УФ-излучения при эксплуатационных условиях (табл. 1).

Таблица 1 – Расчет средней дозы солнечной радиации в Санкт-Петербурге

Месяц	60 градусов северной широты, МДж/м <sup>2</sup>	Суммарная за год, МДж/м <sup>2</sup>	Суммарная за год, Вт·ч/м <sup>2</sup>	Средняя доза радиации в час, Вт/м <sup>2</sup>
Январь	232	5886	1 635 000	186,13
Февраль	470			
Март	744			
Апрель	720			
Май	612			
Июнь	544			
Июль	559			
Август	596			
Сентябрь	614			
Октябрь	562			
Ноябрь	324			
Декабрь	141			

Коэффициент ускорения от воздействия влажности:

$$AF_H = \left(\frac{RH_A}{RH_U}\right)^m = \left(\frac{100}{75}\right)^{2,66} = 2,14,$$

где  $RH_A$  – относительная влажность при проведении испытаний;  $RH_U$  – относительная влажность в естественных климатических условиях;  $m$  – константа влажности, принятая за значение 2,66 [4].

Объединив коэффициенты ускорения от воздействия температуры, влажности и ультрафиолетового излучения, рассчитывается общий коэффициент ускорения испытаний:

$$AF_{UV+t/RH} = \frac{1}{3}(114,02 \cdot 2,14) + \frac{2}{3}(214,73 \cdot 6,44) = 1003.$$

При использовании выбранной методики испытаний эксплуатация длительностью 10 лет будет воспроизведена в климатической установке за 87,33 часа, что составит 3,63 суток или 7 циклов по 12 часов.

В работе представлен разработанный метод расчета коэффициента ускорения для испытаний стеновых панелей модульных конструкций в климатической камере, основанный на уравнении Аррениуса и модели Пека. Этот метод позволяет эффективно связать условия испытаний на старение с эксплуатационными условиями, предоставляя возможность имитировать долгосрочное воздействие окружающей среды в сокращенные сроки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Атамуротов О.Э., Самандаров А.И., Юсупова Л.Ш. Энергоэффективные ограждающие конструкции / Scientific progress. 2021. №2(3). С. 170–174.
2. ASTM International. 2013. ASTM G155-13, Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International
3. Berardi U., Nosrati R.H. Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions / Energy. 2018. Vol. 147. P. 1188–1202. DOI: 10.1016/j.energy.2018.01.053
4. Escobar L, Meeker WQ. A review of accelerated test models. Stat Sci 2007 DOI:10.1214/088342306000000321.
5. Jelle BP. Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory. J Mater Sci 2012; DOI: 10.1007/s10853-012-6349-7.
6. Желдаков Д.Ю., Турсуков С.А., Сеницин Д.А., Пудовкин А.Н., Парфенова А.А. Оценка долговечности наноструктуры волокон минеральной ваты с применением теории химической коррозии / Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 1. С. 59–71. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-1-59-71>.

УДК 620.92

Л.Г. Ермошкин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ СТОЧНЫХ ВОД В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

*Цель работы* – провести исследование преобразования видов механической и тепловой энергии сточных вод с целью повышения энергетической и технико-экономической эффективности.

Использование энергетических установок, работающих на основе возобновляемых источников энергии, наиболее полно отвечает требованиям обеспечения приоритета социальных целей в развитии электроэнергетики, повышения безопасности и экологической чистоты при производстве электрической энергии [1].

В работе представлена разработанная автором классификация видов энергоресурсов, энергетических установок и использование возобновляемых вторичных источников энергии (рис. 1).

На рис. 1 выделена область исследования, а именно использование низкопотенциального тепла вторичных ресурсов в виде преобразования энергии сточных вод [2] в механическую и тепловую энергию.

Преимущество использования названных вторичных энергоресурсов заключается в постоянстве возобновляемой энергии, поэтому энергетические установки, производящие на их основе тепловую и механическую энергию, не имеют топливной составляющей в структуре затрат, и наносят минимальный вред окружающей природной среде при их утилизации.



Рис. 1. Классификация источников возобновляемой энергии

Идея использования тепловой энергии сточных вод известна достаточно давно, тем не менее технологии еще находятся в процессе разработки и апробации [3, 4].

В работе рассмотрена технология использования тепловой и механической энергии сточных вод на примере системы очистки сточных вод города Сочи (~450 тыс. человек), и проведены расчеты ее энергетической эффективности.

Для оценки использованы следующие исходные данные:

- 1) среднее потребление воды в месяц на одну семью из трех человек в г. Сочи составляет: холодная вода –  $18 \text{ м}^3/\text{мес.}$ , горячая вода –  $12 \text{ м}^3/\text{мес.}$ ;
- 2) тариф за электроэнергию  $s = 5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$ ;
- 3) плотность сточных вод при температуре  $30 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho = 995,68 \text{ кг/м}^3$ ;
- 4) средний расход на одного человека в месяц:

$$V_{\text{чел}} = (18 \text{ м}^3 + 12 \text{ м}^3)/3 = 10 \text{ м}^3;$$

- 5) объем сточных вод, который образуется в месяц со всего города, составляет:

$$V_{\text{гор}} = 10 \cdot 450000 = 4,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Масса сточных вод составляет:

$$m = V_{\text{гор}}\rho = 4,5 \cdot 10^6 \cdot 995,68 = 4,48 \cdot 10^9 \text{ кг.}$$

Для использования механической энергии предлагается строительство мини-ГЭС [5] на сточной части после очистных сооружений города Сочи.

Мощность мини-ГЭС на очистных сооружениях и рассчитана по формуле:

$$P = 9,81QH\eta,$$

где выходной коллектор имеет перепад с выходом в море ~20 м, поэтому принимаем на мини-ГЭС напор турбины  $H = 20 \text{ м}$ ;  $Q$  – расход воды через турбину,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\eta$  – коэффициент полезного действия турбины, равный 0,85.

В очистных сооружениях со всего города собирается  $4,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$  сточных вод в месяц, тогда средний расход составит:

$$Q = V/t = 4,5 \cdot 10^6 / (30 \cdot 24 \cdot 3600) = 1,74 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким образом, мощность мини-ГЭС будет равна:

$$P = 9,81 \cdot 1,74 \cdot 20 \cdot 0,85 = 290,18 \text{ кВт.}$$

Среднегодовая выработка энергии мини-ГЭС определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.год}} = P t_{\text{час}}^{\text{год}},$$

где  $t_{\text{час}}^{\text{год}}$  – число часов работы мини-ГЭС за год;  $0,9 \cdot t_{\text{час}}^{\text{год}} = 0,9 \cdot 8760 = 7884$  ч.

Получаем:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.год}} = 290,18 \cdot 7884 = 2287779,12 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 2,288 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

Доход от производства электрической энергии мини-ГЭС составит:

$$S_{\text{ээ}} = \mathcal{E}_{\text{ср.год}} s = 2287779,12 \cdot 5 = 11438895,6 \text{ руб.} = 11,44 \text{ млн руб./год.}$$

Экономическая эффективность от выработки электроэнергии мини-ГЭС для г. Сочи составляет 11,44 млн руб./год.

Для определения эффективности использования тепловой энергии рассматриваем тепловой насос. Будем считать, что создается экологически чистый энергетический комплекс, а электрическая энергия, производимая мини-ГЭС, расходуется на обслуживание теплового насоса. Сточная вода, используемая для предварительного нагрева холодной воды, охлаждается на 3 °С.

Тогда тепловая энергия в месяц составляет:

$$E = cm\Delta t = 4200 \cdot 4,48 \cdot 10^9 \cdot 3 \approx 5,64 \cdot 10^{13} \text{ Дж} \approx 1,6 \cdot 10^7 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  – удельная теплоемкость воды,  $m = 4,48 \cdot 10^9 \text{ кг}$ .

Затраты электрической энергии на привод теплового насоса при коэффициенте теплотрансформации 1:4 определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ээТН}} = \mathcal{E}_{\text{ТЭ}}/4,$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ээТН}}$  – затраты электрической энергии теплового насоса;  $\mathcal{E}_{\text{ТЭ}}$  – тепловая энергия,  $\mathcal{E}_{\text{ТЭ}} = E = 1,6 \cdot 10^7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ .

Получаем:

$$\mathcal{E}_{\text{ээТН}} = 1,6 \cdot 10^7 / 4 = 4 \cdot 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Среднемесячная выработка энергии мини-ГЭС составит:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.мес}} = P \cdot 0,9 \cdot t_{\text{час}}^{\text{мес}} = 290,18 \cdot 0,9 \cdot 720 = 188036,64 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Далее определяется процент тепловой энергии в сточных водах за месяц:

$$\mathcal{E}_{\text{ээТН}}/\mathcal{E}_{\text{ср.мес}} = 4 \cdot 10^6 / 1,8 \cdot 10^5 = 22\%.$$

Таким образом, тепловая энергия с использованием теплового насоса в месяц составляет:

$$E_{\text{ТС}} = (\mathcal{E}_{\text{ээТН}}/\mathcal{E}_{\text{ср.мес}})Q = 0,22 \cdot 1,6 \cdot 10^7 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Доход от преобразования электрической энергии с технологии теплового насоса в месяц составит:

$$S_{\text{ээ}} = E_{\text{ТС}} \cdot s = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 5 = 17,5 \text{ млн. руб.}$$

Экономическая эффективность от технологии использования теплового насоса для всего города составляет 17,5 млн руб. в месяц или 210 млн руб./год.

**Выводы:**

1. Разработана классификация источников возобновляемой энергии с подробным делением вторичных энергоресурсов в виде низкопотенциального тепла.
2. Существует два метода преобразования энергии сточных вод в электроэнергию: с помощью гидравлической и тепловой энергии (тепловых насосов);
3. Проведена оценка количества механической и тепловой энергии сточных вод для города Сочи: значение среднегодовой выработки энергии МГЭС со всего объема сточных вод составляет  $\mathcal{E}_{\text{ср.год}} = 2,288 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ , что обеспечивает экономию в 11,44 млн руб./год; тепловая энергия в месяц со всего города с применением технологии тепловых насосов и энергетического комплекса составила  $3,5 \cdot 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , что обеспечивает экономию в 210 млн руб./год.
4. Использование энергии сточных вод позволит экономить энергию и снизить ее стоимость.

Работа выполнена при консультировании профессора В.В. Елистратова.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. 3-е изд., доп. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016.
2. Электрика, энергетика и тепло. Сточные воды как неиссякаемый источник энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energycraft.org/geothermalnaya-energiya/stonye-vody-kak-neissakaemyj-istonik-energii.html>
3. Под Томском начала работать мини-ГЭС на сточных водах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tesiaes.ru/?p=8546>
4. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.insolar.ru/lib\\_20.php](http://www.insolar.ru/lib_20.php)
5. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.

УДК 620.92

А.В. Лысенко, Д.А. Кирсанов, М.Д. Терех  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Цель работы* – определить экономически выгодные города Российской Федерации для проведения энергоэффективных мероприятий.

Для достижения поставленной цели были рассмотрены основные принципы и технологии, применяемые в энергоэффективных зданиях, а также исследованы их преимущества и примеры успешно реализованных проектов [1, 2].

Далее была построена сетка территории РФ с равномерно распределёнными по карте локациями, на основе которой был выбран 21 город (рис. 1).



Рис. 1. Сетка рассматриваемых городов России

Следующим этапом для каждого выбранного города был произведён поиск и подсчёт данных для сравнения (рис. 2) [3–7]:

1. Удельная годовая выработка электрической энергии (плоской солнечной фотоэлектрической установкой) и тепловой энергии (солнечным коллектором);
2. Стоимость электрической и тепловой энергии;
3. Градусо-сутки отопительного периода;
4. Удельная мощность ветрового потока.



Красным цветом в таблицах выделены высокие показатели, желтым цветом – более низкие, далее – зеленым, серым и не выделенные вовсе. Остановимся на населенных пунктах, показатели которых самые высокие (красным цветом).

В дальнейшем был рассчитан потенциал использования ВИЭ (рис. 3). Для этого была создана математическая модель для каждого города.

Город	Удельная годовая выработка энергии, кВт·ч/м <sup>2</sup>		Стоимость энергии в регионах России, руб/кВт*ч		ГСОП, °С·сут/год	Удельная мощность ветрового потока на высоте 100 м, Вт/м <sup>2</sup>
	Электрическая энергия, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Тепловая энергия, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Электрическая энергия, руб/кВт*ч	Тепловая энергия, руб/кВт*ч		
Калининград	100	500	5,07	0,327	3515,6	100-200
Мурманск	100	100	3,40	0,399	6360,9	200-400
Санкт-Петербург	120	500	5,70	0,245	4473,2	100-200
Москва	120	300	6,43	0,339	4528,8	100-200
Ставрополь	140	800	5,71	0,331	3259,2	200-400
Нарьян-Мар	100	100	6,35	0,297	7835,1	400-700
Сыктывкар	140	300	5,75	0,268	6195,2	100-200
Уфа	120	500	4,01	0,290	5413,1	200-400
Диксон	100	100	1,64	0,246	11419,2	400-700
Новый Уренгой	120	300	3,45	0,201	9367,3	400-700
Томск	100	500	4,39	0,284	6477,4	100-200
Кызыл	160	700	4,18	0,244	7387,2	100-200
Кюсюр	120	100	7,88	0,266	11583,6	200-400
Мирный	100	300	7,88	0,266	9336,5	100
Чита	160	500	5,02	0,210	7425,6	100-200
Среднеколымск	100	300	7,88	0,266	10913,8	100-200
Охотск	140	500	5,54	0,266	8053,5	200-400
Владивосток	180	800	4,69	0,331	4815,8	200-400
Анадырь	100	300	9,70	0,227	9236,7	700-1000
Корф	100	300	6,94	0,432	7344,1	700-1000

Рис. 2. Сравнение городов по характеристикам

Город	Удельная годовая выработка энергии, кВт·ч/м <sup>2</sup>		Стоимость энергии в регионах России, руб/кВт*ч		ГСОП, °С·сут/год	Удельная мощность ветрового потока на высоте 100 м, Вт/м <sup>2</sup>	Потенциал использования ВИЭ
	Электрическая энергия, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Тепловая энергия, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Электрическая энергия, руб/кВт*ч	Тепловая энергия, руб/кВт*ч			
Мурманск	100	100	3,40	0,399	6360,9	200-400	0,302
Ставрополь	140	800	5,71	0,331	3259,2	200-400	0,267
Диксон	100	100	1,64	0,246	11419,2	400-700	0,490
Кюсюр	120	100	7,88	0,266	11583,6	200-400	0,909
Среднеколымск	100	300	7,88	0,266	10913,8	100-200	0,869
Владивосток	180	800	4,69	0,331	4815,8	200-400	0,294
Анадырь	100	300	9,70	0,227	9236,7	700-1000	0,859
Корф	100	300	6,94	0,432	7344,1	700-1000	0,593
Петропавловск-Камчатский	160	500	6,94	0,432	5396,5	700-1000	0,476

Рис. 3. Общие данные

### Выводы

В результате проделанной работы при сравнении полученных данных было выявлено в каких именно городах РФ экономически выгодно проводить энергоэффективные мероприятия:

1. Кюсюр, Республика Саха (Якутия);
2. Среднеколымск, Республика Саха (Якутия);
3. Анадырь, Чукотский автономный округ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гайбуллаев Б. Принципы проектирования энергоактивных зданий / Б.Н. Гайбуллаев, И.И. Тожиев. – Текст: непосредственный / Молодой ученый. 2016. № 7 (111). С. 55–58.
2. Петрова З.К. Модернизация сельских поселений путем применения инновационных технологий / Academia. Архитектура и строительство, 2021. № 4, с. 86–93.
3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология / утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. N 859/пр.
4. RusCable. Тарифы на электроэнергию // ЭЛ № ФС 77 – 70160. URL: [https://www.ruscable.ru/articles/tarifs/tarify\\_na\\_elektroenergiu\\_na\\_2023\\_god](https://www.ruscable.ru/articles/tarifs/tarify_na_elektroenergiu_na_2023_god). (Дата обращения: 04.07.2023).
5. Федеральная служба государственной статистики. Тарифы на тепловую энергию в 2023 году // Единая межведомственная информационно – статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://fedstat.ru/>. Дата обновления данных ЕМИСС: 13 февраля 2023 года.
6. Елистратов В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие / В.В. Елистратов, Е.С. Аронова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.
7. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [Электронный ресурс]: <http://re.jrc.ec.europa.eu> – Электрон.

УДК 628.889

К.А. Наумова, А.С. Короткова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Каждое здание – это инвестиционный проект, поэтому сокращение расходов на любой из стадий его жизненного цикла должно быть приоритетным для строительной отрасли. Один из вариантов повышения энергоэффективности проекта – снижение эксплуатационных затрат. Данный способ экономии становится все более актуальным.

*Цель исследования* – оценить эффективность использования системы автоматизации инженерных систем (САИС) в строительной отрасли.

*Методы исследования* включают анализ литературных источников, примеров реальных строительных объектов, сбор и анализ данных, аналитические расчеты и статистический анализ.

В соответствии с директивой Евросоюза «Об энергопотреблении зданий» (EPBD), при расчете энергоэффективности учитываются различные виды потребления тепловой и электрической энергии. Оптимизация энергопотребления включает использование системы автоматизации здания (АСУЗ), которая принимает во внимание индивидуальные потребности пользователей [1].

Практическая значимость исследования заключается в предоставлении информации и рекомендаций строительным организациям и заказчикам о возможностях и эффективности применения САИС. Это позволит им принимать обоснованные решения при выборе систем автоматизации для своих проектов и повысить энергоэффективность, комфорт и управляемость зданий.

Система автоматизации инженерных систем – комплекс технических решений, используемых для управления и контроля инженерными системами в зданиях и сооружениях.

САИС включает в себя различные компоненты, такие как датчики, исполнительные механизмы, контроллеры, программное обеспечение и пользовательские интерфейсы. Она позволяет в реальном времени собирать данные о работе систем, анализировать их и принимать управленческие решения для оптимизации энергетических и операционных процессов.

Главной целью этой системы является поддержание оптимальных комфортных условий в помещении во время пребывания человека.

На начальных этапах работы были выявлены принципы энергосбережения в следующих инженерных системах: отопление, вентиляция и кондиционирование, электроосвещение. Данные принципы включают в себя следующие пункты:

1. Покомнатное регулирование температуры с коммуникацией между контроллерами и центральной станцией с контролем присутствия человека в помещении [2].
2. Снижение уровня комфорта в помещении в отсутствие людей.
3. Оптимизация времени включения/выключения установок.
4. Использование оконных контактов.
5. Спрос и предложения на обогрев.
6. Взаимоблокировка режимов охлаждения.
7. Оптимизация затрат на охлаждение и освещение.
8. Регулируемый воздухообмен в помещениях с постоянно меняющимся количеством людей [3].

Представленные меры по повышению энергоэффективности ведут к сокращению сроков окупаемости проекта, а их реализация обладает низкой трудоемкостью (рис. 1).



Рис. 1. Меры повышения энергоэффективности здания

Рассмотренные выше принципы автоматизации инженерных систем реализуются на практике по следующей схеме:

САИС функционируют на базе SCADA-пакетов. Они обеспечивают возможность автоматизации процесса сбора, анализа и визуализации информации, получаемой с различного оборудования и устройств, таких как датчики, контроллеры, насосы, клапаны и другие устройства, применяемые в производственных или инфраструктурных процессах [4].

Управление системой САИС осуществляется с рабочего места диспетчера. Для мониторинга систем используются контроллеры с возможностью управления через сеть Интернет. Данные с контроллеров шкафа будут передаваться на диспетчерскую станцию [5].

По результатам работы сделаны следующие *выводы*:

Использование системы автоматизации инженерных систем должно позволить существенно снизить эксплуатационные расходы. Применение САИС сокращает сроки окупаемости проекта по сравнению с другими мерами повышения энергоэффективности здания.

На дальнейших этапах работы предполагается оценить экономическую выгоду от применения САИС в строительстве посредством расчетов на примере высотного офисного здания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Журавлёв М.В. Повышение энергоэффективности зданий посредством автоматизации инженерных систем / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова, 2016. С. 761–765.
2. Тарасенко Ю. Повышение энергоэффективности зданий с помощью автоматизации инженерных систем / Control Engineering Россия. 2017. № 3 (69). С. 28–30.
3. Влияние автоматизации на энергоэффективность здания / SIEMENS, Козлов С.: сайт. – URL: <http://www.siemens.ru/bt> (дата обращения: 01.12.2023)
4. Система автоматизации и диспетчеризации инженерных систем горноклиматического курорта «Альпика-сервис» / Л.И. Бернер, А.В. Роцин, А.В. Харитонов [и др.] / ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 2 (6). С. 7–11.
5. Павлов И. Оптимизация энергозатрат здания с использованием системы автоматизации и управления на примере офисного здания «СИМЕНС» / Control Engineering Россия. 2016. № 4(64). С. 36–40.

УДК 69; 004.891.3

М.Д. Тимофеев, В.В. Дудихин  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОНТРОЛЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**

Технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ) приобретают всё более широкое распространение и применение в различных сферах жизни общества, неизбежно трансформируя или изменяя их.

Системы ИИ на сегодняшний день приобретают значительную вариативность как по функциональным направлениям их использования, так и по масштабам применимости на практике, в то время как одни нуждаются в суперкомпьютерах, осуществляющих значительные вычисления, производящие анализ огромных объёмов данных, другим нейросетям для функционирования достаточно небольших мощностей, поскольку они выполняют узконаправленные прикладные задачи, как например голосовые помощники Алиса или Siri в мобильных устройствах [1].

Рост внимания и популярности технологии нейросетей в последние 2–3 года вынудил большинство компаний и государственных структур принять новую реальность и начать поиски возможностей имплементации систем ИИ в собственные сферы деятельности с целью ускорения выполняемых задач, повышения их качественного уровня и т.д. Одной из достаточно значимых областей в этом отношении можно считать сферы строительства и связанные с ними области создания инженерных систем и инфраструктуры в целом.

Несмотря на недостаточное распространение систем ИИ на текущий момент в этой сфере, уже сейчас можно утверждать, что его применение поможет упростить вычисления и анализ данных при первоначальном строительстве и организации этих систем, а также отслеживании дисфункций в процессе последующей эксплуатации. Как отмечает в своей работе Воробьёв Д.С., ИИ может помочь в оценке тепломассообменных процессов в помещениях с регламентируемым режимом управляемой воздушной среды посредством метода приближённого математического моделирования [2]. Учитывая специфику сходных требований к жилым помещениям и обеспечивающим их инженерным системам, аналитические и математические возможности искусственного интеллекта в значительной мере обеспечат достаточные качественные расчёты для работы и строительства таких пространств.

Согласно статье 8 Градостроительного кодекса РФ, к полномочиям органов местного самоуправления в области градостроительной деятельности относится как проведение осмотра и оценки сооружений на предмет их технического состояния, разработка и утверждение программ комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры [3] и т.д.

Принимая во внимание комплексность и сложность осуществления подобных осмотров и оценок, значительная часть времени работы уходит на анализ собранных данных, определение оставшегося запаса прочности установленных элементов. Так, например, МОЭК, осуществляющий оценку систем теплосетей и общего энергосбережения в зданиях города Москва, в 2023 году активнее стал применять оценку домовых систем посредством тепловизионного и иного оборудования, привлекая значительное количество специалистов [4, 5].

Собранные на начальном этапе, посредством различных методов оценки, данные необходимо проанализировать и определить текущую ситуацию с инженерной системой.

Немаловажными также являются и внешние условия, уровень их влияния на состояние системы. Как раз в этих областях оценки и анализа собранной информации системы искусственного интеллекта могут способствовать ускорению рабочих процессов и помочь получить более качественные результаты. Сегодняшняя оценка во многом опирается на конкретные проверки, когда, к примеру, в системе теплоснабжения заменяется сегмент или целая область и в её изолированном блоке проводится испытание с подачей максимальных объёмов воды чтобы оценить правильность осуществлённых расчётов и отремонтированного сегмента.

Применение ИИ в оценке может помочь не только снизить необходимое количество итераций работы как «в поле», так и с собранными данными. Учитывая возможности узконаправленных систем ИИ, возможно применение определённых программ с малыми нейросетями на мобильных или иных, специально разработанных устройствах, которые будут собирать и отправлять данные в крупную нейросеть, которая будет осуществлять обработку собранной информации и составление выводов по ней. Причём, учитывая возможности работы современных сетей с графическими изображениями, например с тепловизоров, специально под ИИ даже не придётся изменять формат собранных данных.

Однако для осуществления подобных модернизаций, на сегодняшний день, сперва необходимо решить ряд вопросов, которые могут препятствовать или блокировать реализацию подобных систем, а именно:

- Отсутствие существующего законодательного регулирования подобных систем. Определение зон ответственности. Вышеуказанные области напрямую затрагивают жизнь и безопасность граждан, из-за чего необходимо детально проработать возможности и ограничения в применении таких систем, определить ответственных должностных лиц, которые будут осуществлять необходимые мероприятия по недопущению различных чрезвычайных ситуаций. Способом начала осуществления таких нововведений можно предложить различные правовые «песочницы», в рамках которых отдельные территории становятся зоной «правового эксперимента», где осуществляется введение и оценка определённого регулирующего воздействия. Подобная практика уже применяется, что неоднократно отмечалось в рамках Петербургского международного юридического форума по вопросам ИИ в 2023 году [6].
- Необходимость создания указанных систем искусственного интеллекта централизованным способом под контролем государства. Поскольку сфера деятельности напрямую пересекается с интересами граждан и страны, необходимы соответствующие меры защиты разрабатываемых систем, их качественная и детальная проработка.
- Техническое обеспечение создаваемых систем рабочими мощностями. Для создания указанных систем не потребуются значительные кластеры вычислительных центров, однако будет необходимо создать один масштабный централизованный, либо массу меньших по размерам под контролем отдельных муниципальных образований.
- Обеспечение создаваемых обучающихся нейросетей качественными дата-сетями, которые позволят им с меньшими задействованными вычислительными мощностями продемонстрировать более высокие результаты. Учитывая специфику собираемой информации, пока вопрос не затрагивает инженерных систем отдельных объектов, защищаемых государством, как например различные заводы, данные могут агрегироваться без значительных ограничений. Значительной проблемой при обучении ИИ зачастую становится вопрос санитизации данных, т.е. превращение их в обезличенный вид, однако в данной сфере такая проблема маловероятна.

### *Выводы*

Подводя итог, можно отметить, что всё более и более активно развивающиеся и распространяющиеся технологии искусственного интеллекта постепенно станут нормой и неизбежным требованием эффективного функционирования большинства областей человеческой деятельности. В то время как человеческий мозг имеет собственные лимиты, такие как ограничения параллелизма, памяти, внимания, вычисления, быстрогодействия и прочие, ИИ по ряду этих чисто механических параметров может стать качественным и высокопроизводительным помощником.

Сферы строительства, создания и поддержания инженерных систем, ЖКХ и ряд других не станут исключениями и во многом смогут выиграть от внедрения подобных систем искусственного интеллекта. По оценкам Сбера, внедрение ИИ в строительство, может повысить производительность на 30% и снизить период проектирования на 40%, а в области ЖКХ снизить на 50% убытки от аварий [7].

Несмотря на возможную некоторую оптимистичность оценок и частое рассмотрение ИИ в качестве своеобразной панацеи, стоит помнить, что подобные системы являются лишь высокотехнологичными программами, которые во многом помогают человеку в его работе, снижают рутинную нагрузку, но не должны исключать самого человека из процесса.

Как только вышеперечисленные вопросы, ограничивающие внедрение ИИ будут решены, общая скорость и качество работы муниципальных структур и связанных компаний по обеспечению функционирования инженерных систем значительно повысится.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Марков С. Искусственный интеллект и машинное обучение: итоги 2023 года. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2024. URL: [https://youtu.be/Btj-DLDKYbg?si=\\_nRZNIuSCN-oD1wW](https://youtu.be/Btj-DLDKYbg?si=_nRZNIuSCN-oD1wW)
2. Воробьёв Д.С. Использование технологий искусственного интеллекта для повышения энергетической и функциональной эффективности зданий с режимными параметрами внутреннего воздуха. Энергетика и цифровизация: теория и практика трансформации. Материалы II Международной НПК. Волгоград, 2023. С. 63–70.
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023).
4. Пресс-центр ПАО «МОЭК». «МОЭК»: завершены испытания на теплосетях, обеспечивающих теплом и горячей водой 80% жилых домов Москвы. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2024. URL: <https://www.moek.ru/press/news/2023/08/956/>
5. Французова П. Новое слово в энергосбережении: МОЭК проводит тепловизионное обследование объекта. «Вечерняя Москва». // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2024. URL: <https://vm.ru/society/1035896-novoe-slovo-v-energoberezhonii-moek-provodit-teplovizionnoe-obsledovanie-obuekta>
6. Незнамов А., Гарбук А., Емшанов И., Крайнов А., Наумов В., Строголева В., Травников Д., Щур-Труханович Л. Правовое регулирование искусственного интеллекта: от возможности к необходимости. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2024. URL: <https://youtu.be/wyGSr3ltlcA?si=WRE11vltUtnRlaSJ>
7. СберПро. Нейросеть на стройке. Как ИИ помогает в строительстве и ЖКХ. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2024. URL: <https://sber.pro/digital/publication/nejroset-na-strojke-kak-ii-pomogaet-v-stroitelstve-i-zh-kh/>

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТОДИК  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УДЕЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПУЛЬПОПРОВОДА

*Введение.* В результате процессов обогащения полезных ископаемых на горно-обогатительных комбинатах образуются отходы производства, называемые хвостами.

На настоящее момент в горной промышленности используется около 400 напорных гидротранспортных систем [1].

Наиболее эффективным способом транспортировки хвостов до точки складирования является использование гидравлической энергии потока.

*Цель работы.* Определение разницы между используемыми методиками определения гидравлических потерь напора при транспортировке пульпы.

*Задачи исследования.*

1. Изучение основных методик определения гидравлических потерь напора при транспортировке пульпы: П 59-72 «Инструкция по гидравлическому расчёту систем напорного гидротранспорта грунтов» [2], разработанная во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, и Пособие по проектированию гидравлического транспорта (к СНиП 2.05.07-85), разработанное Промтрансниипроектом [3];

2. Проведение расчётов в соответствии с методиками из п. 1 и сравнение результатов.

*Метод исследования.* Сравнение наиболее распространённых способов определения удельных гидравлических потерь по длине пульпопровода.

Исходными данными для оценки гидравлических удельных потерь:

1. Гранулометрический состав, представленный в табл. 1 [4];
2. Консистенция пульпы (гидросмеси), выраженное в соотношении твёрдого к жидкому по объёму (Т: Ж): 1:12,3;
3. Материал и диаметр трубопровода (пульпопровода): стальная труба DN1000 (учитывая рекомендацию в п.5, [3]).

Таблица 1 – Гранулометрический состав

Фракция грунта, мм	2-1	1-0,21	0,21-0,074	-0,074
$p, \%$	0,4	0,5	0,9	1,8

На рис. 1 представлена гранулометрическая кривая на основе табл. 1, позволяющая определить  $d_{10}$  и  $d_{90}$ .

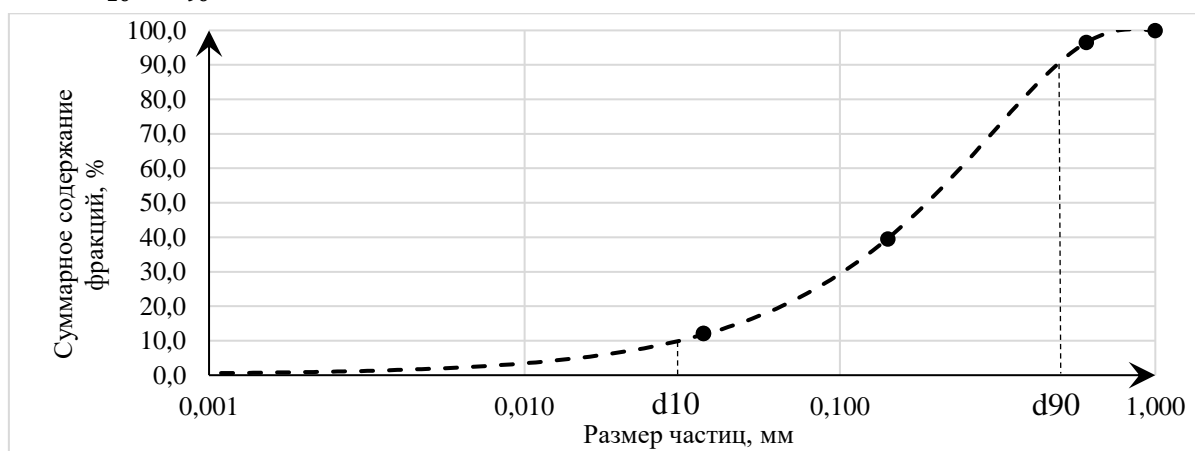


Рис. 1. Кривая гранулометрического состава хвостов



Один из ключевых параметров, необходимый для определения потерь напора, это критическая скорость пульпы, при которой не происходит осаждения твёрдой фазы в лотке трубопровода, что влияет на площадь живого сечения и, как следствие, на потери напора.

Критическая скорость, в соответствии с [2], вычисляется по формуле (1):

$$v_{кр} = 8,3\sqrt[3]{D^6 S \psi_{ср}}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр трубопровода;  $\psi_{ср}$  – коэффициент, зависящий от гидравлической крупности частицы грунта [п. 2.3, 2]. Для одномодального многофракционного грунта вычисляется средневзвешенное значение  $\psi_{ср}$ , определяемый по формуле (2):

$$\psi_{ср} = \frac{\sum \psi_i p_i}{100}, \quad (2)$$

где  $\psi_i$  – средняя величина для  $i$ -ой фракции,  $p_i$  – процентное содержание  $i$ -ой фракции по весу в составе пробы грунта;  $S$  – действительная объемная консистенция гидросмеси, определяемая по формуле (3):

$$S = \frac{\rho_{см} - \rho_{в}}{\rho_{т} - \rho_{в}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{см}$ ,  $\rho_{т}$ ,  $\rho_{в}$  – плотности соответственно гидросмеси (пульпы), твёрдой фракции и воды.

Удельные потери напора вычисляются согласно формуле (4):

$$I_{см} = I_{в} + \Delta I, \quad (4)$$

где  $I_{см}$  и  $I_{в}$  – соответственно удельные потери напора при движении в пульпопроводе гидросмеси и воды;  $\Delta I$  – дополнительные удельные потери напора из-за наличия твёрдых частиц в потоке. Рассчитываются по формуле (5):

$$\Delta I = \delta \sqrt[4]{j^3} \sqrt{S} \frac{Q_{см.кр}}{Q_{см}}, \quad (5)$$

где  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц  $d_0$  в зависимости от диаметра трубопровода [табл. 4, 2];  $Q_{см.кр}$  – расход гидросмеси, соответствующий критической скорости  $v_{кр}$ ;  $j$  – коэффициент разнотерности грунта, определяемый по формуле (6):

$$j = \frac{3d_{10}}{d_{90}}, \quad (6)$$

где  $d_{10}$  и  $d_{90}$  – крупности частиц грунта, меньших которых в составе содержится соответственно 10 и 90 %, определяются по кривой гранулометрического состава грунта (рис. 1).

В [3–5] приведены следующие зависимости, позволяющие определить ключевые параметры для определения удельных гидравлических потерь:

Критическая скорость:

$$v_{кр} = 4,9S^{0,36} \left( \frac{\sqrt{gD}}{\sqrt[4]{C_{\varphi}}} \right), \quad (6)$$

где  $C_{\varphi}$  – средний коэффициент лобового сопротивления, зависящий от  $\psi_{ср}$  [табл. 3, 3].

Удельные потери напора для пульпы  $I_{п}$ , м/м:

$$I_{п} = I_{в} \left( 1 + 165S \left[ \frac{v^2 \sqrt{C_{\varphi}}}{gD} \right]^{-1,4} \right). \quad (7)$$

Результаты вычислений по двум методикам приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$		6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000
Удельные потери $I_{\text{п}}, \text{ м/м}$	[2]	0,0095	0,0107	0,0100	0,0125	0,0156	0,0192	0,0232	0,0278	0,0327
	[3]	0,0204	0,0182	0,0181	0,0193	0,0214	0,0243	0,0279	0,0320	0,0366
Различие, %		53,44	41,05	44,56	35,11	27,30	21,20	16,57	13,09	10,46

На рис. 2 представлена зависимость удельных гидравлических потерь, вычисленных с помощью соответствующих методик, от расхода гидросмеси.

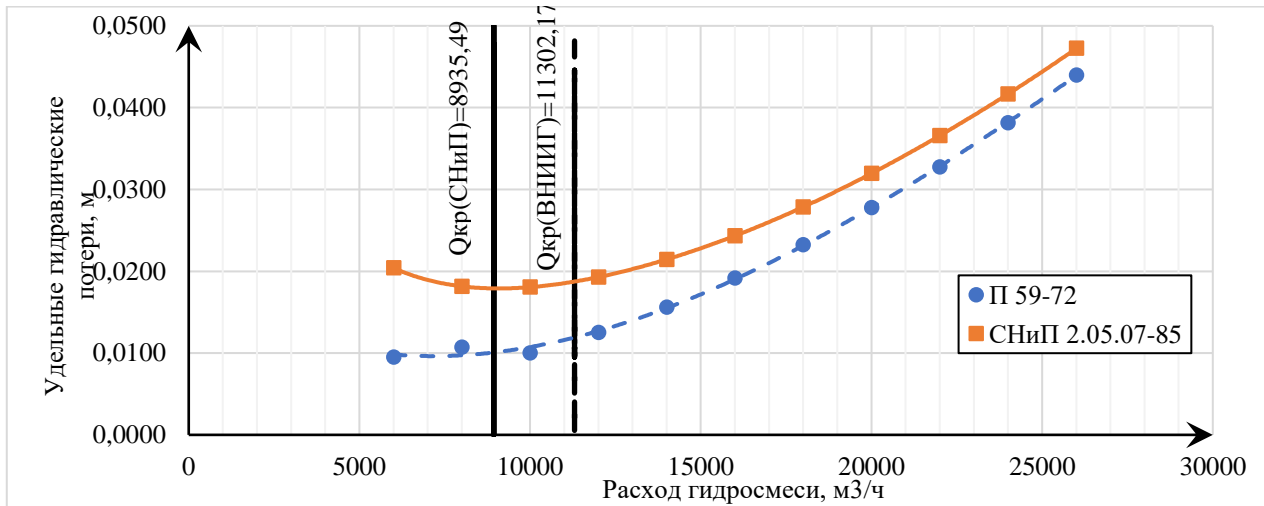


Рис. 2. Зависимость удельных гидравлических потерь по длине от расхода пульпы

#### Выводы

В результате проделанной работы были сравнены две расчётные методики. На рис. 2 видно сильное различие (до 53,44 %) между полученными результатам. Это связано с тем, что в методике, описанной в [2], учитывается отложения твёрдой фазы, тем самым уменьшая живое сечение трубопровода. В [3] заиляемость же трубопровода не учтена.

Также стоит отметить, что при разработке рассмотренных методик были применены эмпирические методы исследования, что также могло сказаться на результатах при различных исходных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Александров В.И. Гидротранспорт сгущенных хвостов обогащения железной руды на Качканарском ГОКе по результатам опытно-промышленных испытаний системы гидротранспорта / В.И. Александров, М.А. Васильева // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 471-479. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.471.
2. П 59-72. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. – Л.: ВНИИГ, 1972 г., с. 36.
3. Пособие по проектированию гидравлического транспорта (к СНиП 2.05.07-85) /Промтрансниипроект. – М.: Стройиздат, 1988. – 40 с.
4. Кибирев В.И., Райлян Г.А., Сазонов Г.Т. Гидравлическое складирование хвостов обогащения, справочник. – М.: Недра, 1991 г., с. 207
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с., ил.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ  
НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЙ

Энергоэффективное строительство – важнейшая государственная задача. Снизить расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий можно за счет разработки и внедрения в практику современного строительства энергоэффективных архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технических решений [1–5]. Низкий уровень энергопотребления в зданиях достигается путем применения компактных объемно-планировочных решений, повышения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, регулирования естественного притока воздуха через теплозащитную оболочку здания, пассивного использования энергии наружного климата, совершенствования методов оценки энергоэффективности зданий [6–9].

Требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий содержатся в актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (СП 50.13330). Для оценки энергоэффективности проектных решений жилых и общественных зданий используют удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, численно равную расходу тепловой энергии на  $1 \text{ м}^3$  отапливаемого объема здания при перепаде температуры в  $1 \text{ К}$ . Расчетное значение этой характеристики определяют с учетом климатических условий пункта, выбранных объемно-планировочных решений, ориентации здания по сторонам горизонта, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, принятой системы вентиляции здания, применения энергосберегающих технологий. По относительному отклонению расчетной характеристики от нормируемой устанавливают класс энергосбережения здания.

В неактуализированной редакции СНиП 23-02-2003 расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий относился к  $1 \text{ м}^2$  общей площади квартир (или полезной площади помещений здания) или к  $1 \text{ м}^3$  отапливаемого объема здания.

Следует четко различать понятия отапливаемый объем помещений и отапливаемый объем здания (рис. 1).

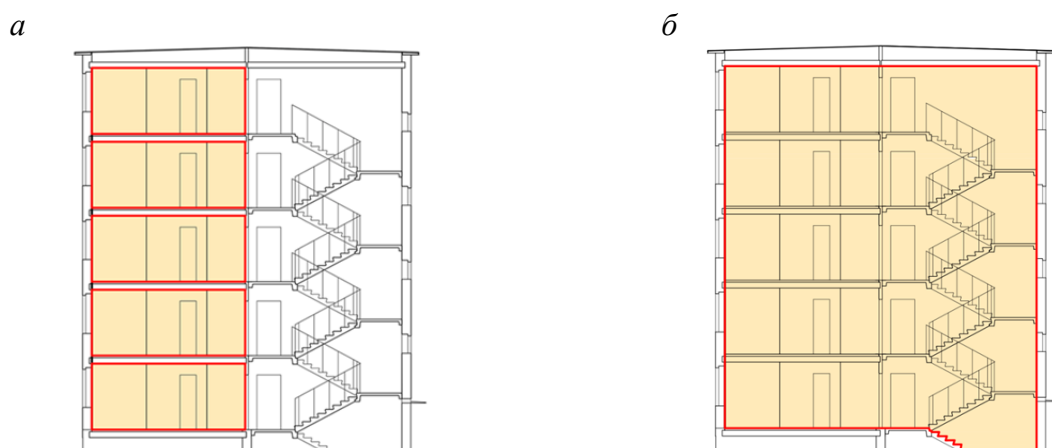


Рис. 1. Отапливаемый объем помещений (а) и отапливаемый объем здания (б)

Отапливаемый объем помещений определяют в границах квартир (рис. 1, а). В этом случае объем, занимаемый внутренними ограждающими конструкциями, исключают. Объем, занимаемый другими помещениями, также не учитывают. Поэтому отнесение общего расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию к  $1 \text{ м}^2$  площади квартир завышает удельный расход теплоты.

Отапливаемый объем здания ограничен теплозащитной оболочкой (рис. 1, б). В этом случае в отапливаемый объем здания включают все отапливаемые помещения, а также все внутренние ограждающие конструкции. Теплозащитная оболочка здания является замкнутой, что соответствует комплексному требованию СП 50.13330. Отнесение общего расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию к  $1 \text{ м}^3$  отапливаемого объема позволяет более точно оценить теплотехническую характеристику здания.

Используем данные энергетических паспортов проектов многоквартирных жилых зданий в Волгограде, при градусо-сутках отопительного периода (ГСОП) равных 3965 [10]. Здания имеют различную форму и этажность (рис. 2).

Эффективность объемно-планировочных решений подтверждается низкими значениями показателя компактности зданий. Уровень теплозащиты наружных ограждающих конструкций соответствует поэлементным требованиям. В зданиях предусмотрена система естественной вентиляции с регулируемым притоком и удалением воздуха. Системы отопления и вентиляции имеют автоматическое или ручное регулирование.

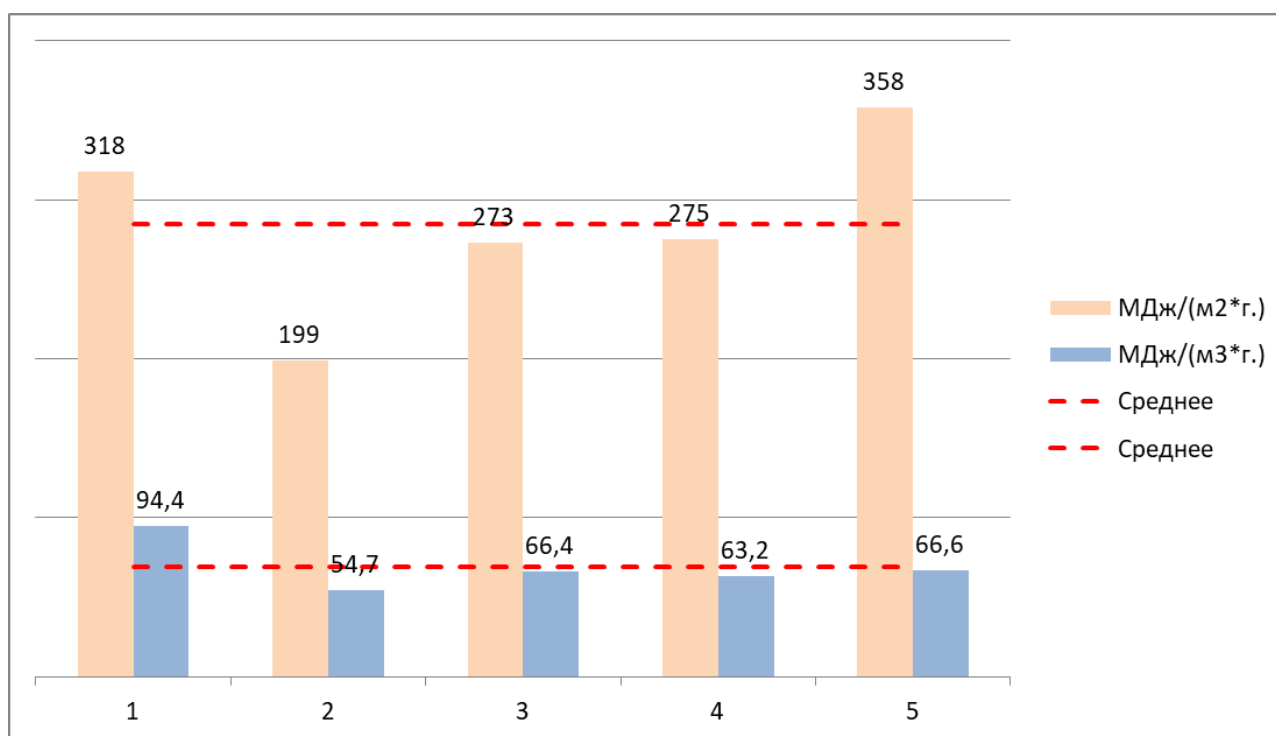


Рис. 2. Расчетный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, отнесенный к площади квартир (МДж/(м<sup>2</sup>·г.) и к отапливаемому объему зданий (МДж/(м<sup>3</sup>·г.):  
 1 – 9 этажей; 2 – 11 этажей; 3 – 12 этажей; 4 – 17 этажей; 5 – 23 этажа

Результаты расчета показывают (рис. 2), что расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, отнесенный к площади квартир, изменяется от 199 МДж/(м<sup>2</sup>·г.) для 11-этажного здания до 358 МДж/(м<sup>2</sup>·г.) для 23-этажного здания при среднем расходе 285 МДж/(м<sup>2</sup>·г.). Среднеквадратическое отклонение равно 53 МДж/(м<sup>2</sup>·г.).

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, отнесенный к отапливаемому объему зданий, изменяется от 54,7 МДж/(м<sup>3</sup>·г.) для 11-этажного здания до 94,4 МДж/(м<sup>3</sup>·г.) для 9-этажного здания при среднем расходе 69,1 МДж/(м<sup>3</sup>·г.). Среднеквадратическое отклонение равно 13,4 МДж/(м<sup>3</sup>·г.).

Таким образом, отнесение расчетного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию к 1 м<sup>3</sup> отапливаемого объема здания дает устойчивый результат по сравнению с величиной, отнесенной к площади квартир. Это позволяет более точно оценить класс энергоэффективности многоэтажных жилых зданий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Табунщиков Ю.А. Экология среды обитания человека: реальность, которую игнорировать бесконечно опасно // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 3. С. 4–15.
2. Бродач М.М., Шилкин Н.В. Зеленые здания – требования устойчивого развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 2. С. 56–64.
3. Perlova E., Platonova M., Gorshkov A., Rakova X. Concept project of zero energy building / 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Vienna, 2015. Pp. 1505–1514.
4. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С., Куколев М.И. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 22 (74). С. 57–65.
5. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 8 (68). С. 86–91.
6. Немова Д.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Корниенко С.В., Горшков А.С. Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 102–114.
7. Корниенко С.В. Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 132–145.
8. Корниенко С. Зеленое строительство – инновационный и социально значимый элемент повышения устойчивости среды // Здания высоких технологий. 2017. Т. 3. № 3. С. 60–80.
9. Korniyenko S.V. Renovation of residential buildings of the first mass series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018. P. 022060.
10. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь в краевых зонах ограждающих конструкций: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2011. 107 с.

УДК 699.82

К.П. Зубарев<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

#### ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ НА ПОДБОР ПРИБОРОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

*Цель работы:* проведение оценки влияния нестационарного температурно-влажностного режима ограждений зданий на конструктивное решение системы отопления.

Вопросами оценки температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций занимаются ученые в России и за рубежом. Впервые вопросом влагопереноса занялся К.Ф. Фокин [1], затем его теория была развита классиками теплотехники В.Н. Богословским [2] и

А.В. Лыковым [3], которые разработали и внедрили понятие потенциал влажности. За рубежом теория тепло-влажноперевода через ограждения существенно была развита в Швеции J. Arvidsson [4], который применил потенциал Кирхгофа для тепло-влажноперевода в древесине. В Германии Н.М. Künzel [5] создал теорию температурно-влажностного режима, основанную капиллярном переносе. В Нидерландах L. Pei [6] создал теорию переноса влаги на основании рассмотрения микропроцессов движение пара и жидкости в порах материала. Одни из последних исследований были в этой области были проведены М.Р. Петриченко и Т.А. Мусориной [7], которые разработали оригинальную математическую модель [8,9]. Современные представления о защите от переувлажнения ограждений включены в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и основаны на работах В.Г. Гагарина и В.В. Козлова [10].

Для оценки нестационарного влажностного режима стен здания в работе было применено уравнение, основанное на потенциале влажности  $F$ , которое учитывает движение парообразной и жидкой влаги:

$$\frac{\gamma_0 \cdot \xi_F(w,t)}{E_t(t)} \cdot \frac{\partial F(w,t)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial F(w,t)}{\partial x} \right). \quad (1)$$

где  $\gamma_0$  – плотность сухого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi_F$  – относительная потенциальность материала, кг/кг;  $t$  – температура, °С;  $E_t$  – давление насыщенного водяного пара, Па;  $F$  – потенциал влажности, Па;  $\tau$  – время, с;  $x$  – координата, м;  $\mu$  – коэффициент паропрооницаемости, кг/(м·с·Па);  $w$  – массовая влажность, кг/кг (1 кг/кг = 100 % по массе).

Потенциал влажности  $F$  зависит от паропрооницаемости, теплопроводности и сорбции:

$$F(w,t) = E_t(t) \cdot \varphi(w) + \frac{1}{\mu} \int_0^w \beta(\zeta) d\zeta. \quad (2)$$

В исследовании были рассчитаны тепловые потери здания, а также подобраны приборы отопления при стандартных значениях массовой влажности по СП 50.13330.2012, а также при вычисленных значения массовой влажности по уравнениям в (1) и (2).

Представлен план этажа дома с нанесенной на него системой отопления (рис. 1).

В результате было получено, что нагрузка на систему отопления при учете нестационарного влажностного режима ниже на 5 % в сравнении с применением стандартных значений массовой влажности строительных материалов, что доказывает эффективность предложенного подхода.

На рисунке в квадратах указаны данные:

- первое число – расчётная температура помещения;
- второе число – тепловые потери помещения, полученные при расчете при значениях влажности материалов стены здания, принятых по СП 50.13330.2012;
- третье число в скобках – тепловые потери помещения, полученные при расчете при значениях влажности материалов стены здания, определенных по результатам оценки нестационарного влажностного режима;
- первая подпись рядом с отопительным прибором показывает его тип, высоту и длину, полученные при расчете при значениях влажности материалов стены здания, принятых по СП 50.13330.2012;
- вторая подпись в скобках рядом с отопительным прибором показывает его тип, высоту и длину, полученные при расчете при значениях влажности материалов стены здания, определенных по результатам оценки нестационарного влажностного режима.

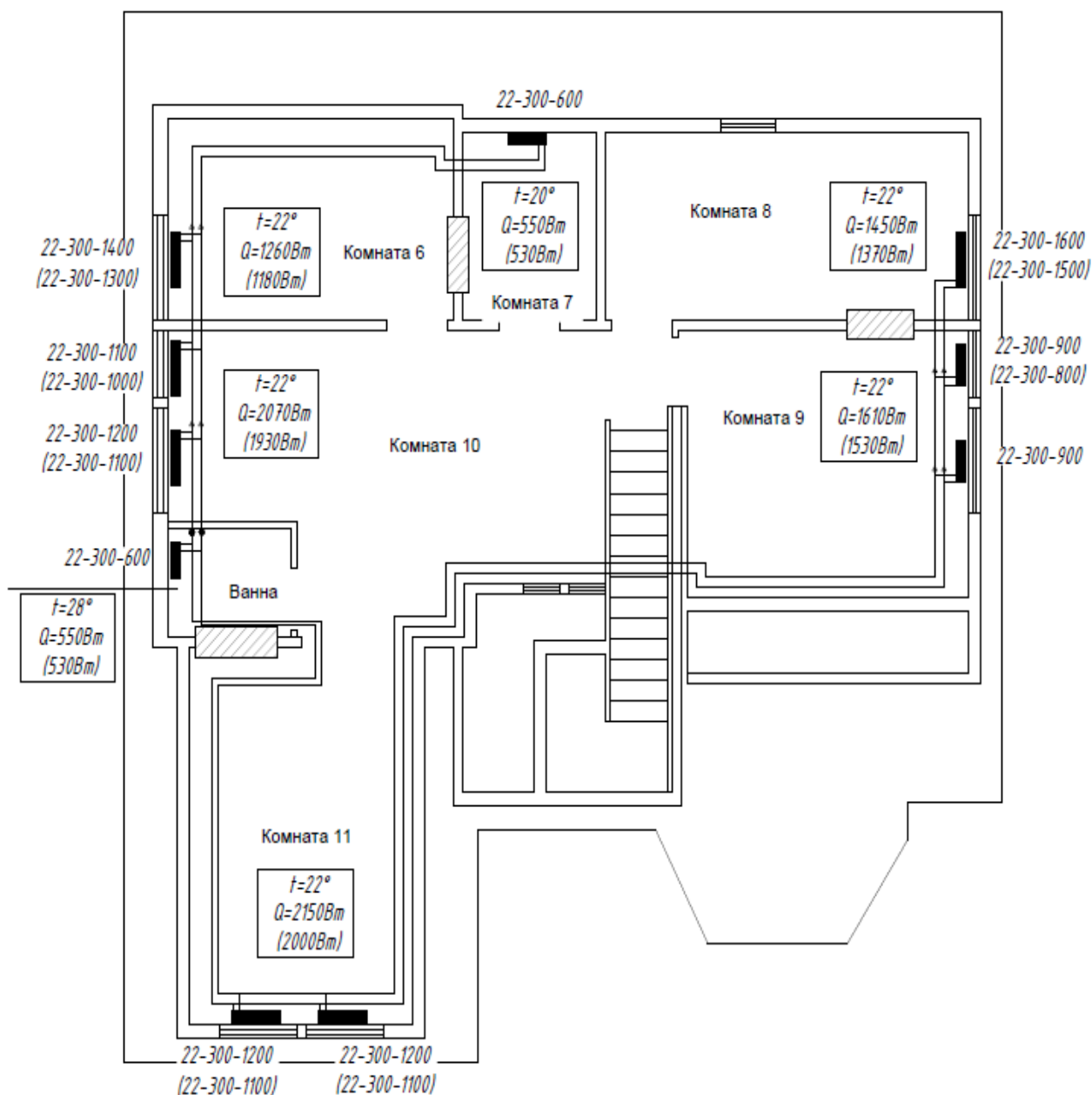


Рис. 1. План этажа дома с нанесенной на него системой отопления

*Выводы.* Таким образом, было получено, что оценка нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций здания дает больше возможностей в сравнении с использованием стандартных значений влажности строительных материалов, что позволяет повысить энергосбережение и ресурсосбережение при проектировании зданий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
2. Богословский В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий: монография / В.Н. Богословский; под ред. В.Г. Гагарина. – М.: МГСУ, 2013. – 112 с.

3. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: Изд-во академии наук БССР, 1961. – 520 с.
4. Arfvidsson J. Moisture transport in porous media. Modelling based on Kirchhoff potentials // Doctoral dissertation / Arfvidsson Jesper. – Lund, 1998. – 130 p.
5. Künzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters: PhD Thesis / Künzel Hartwig M. – Stuttgart, 1995. – 65 p.
6. Pel L. Moisture transport in porous building materials: PhD Thesis / Pel Leo. – Eindhoven, 1995. – 140 p.
7. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. – 2018. – Т. 8. – № 3. – С. 35–53.
8. Statsenko E.A., Musorina T.A., Ostrovaia A.F. Antuskov A.L. Moisture transport in the ventilated channel with heating by coil // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – No. 2(70). – P. 11–17. DOI 10.18720/MCE.70.2.
9. Zaborova D., Vieira G., Musorina T., Butyrin A. Experimental Study of Thermal Stability of Building Materials // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 692. P. 482–489. DOI 10.1007/978-3-319-70987-1\_51.
10. Гагарин В.Г. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2006. – № 2. – С. 60–63.

УДК 697.93

Е.И. Каримова, О.В. Аверьянова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## АНАЛИЗ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ С СЕКЦИЕЙ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА

От поддержания стабильных показателей температурно-влажностного режима напрямую зависит сохранность музейных экспонатов, выставочных образцов и иных предметов, представляющих культурную ценность [1].

Поддержание заданного значения относительной влажности воздуха в помещениях со строгими требованиями к внутреннему микроклимату, таких как музеи, в особенности в районах с повышенными значениями влажности вызывает необходимость осушения воздуха. Применение центральных кондиционеров с секцией осушения, представляющей собой охладитель воздуха, позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты на энергоснабжение зданий [2].

*Цель работы:* проанализировать существующие способы поддержания внутренних климатических параметров для применения в помещениях музея.

Требуемое значение относительной влажности воздуха обеспечивается ассимиляцией влаги осушенным воздухом, имеющим более низкое влагосодержание, чем влагосодержание внутреннего воздуха.

Существуют три способа осушения воздуха, основанные на таких физических явлениях как адсорбция, абсорбция и конденсация водяных паров [3].

Работа конденсационных осушителей воздуха основана на принципе конденсации содержащегося в воздушной массе водяного пара на поверхностях, имеющих температуру ниже температуры точки росы воздуха [4].

*Достоинства:*

- конденсация влаги внутри агрегата способствует переводу скрытого тепла в явное, которое обуславливает дополнительный подогрев воздуха, циркулирующего в системе;
- работает в автоматическом режиме по заранее заданным настройкам.

*Недостатки:*

- неэффективны в помещениях с низкой температурой воздуха.



Адсорбционный способ основан на сорбционных свойствах твердых веществ, называемых адсорбентами. Влага при этом собирается на специальном адсорбирующем материале типа силикагеля с последующей регенерацией, путем прокаливания [4].

Достоинства:

- эффективны при низких температурах воздуха для его глубокой осушки;
- возможность осушения воздуха без его охлаждения, а также осушение воздуха при температуре ниже 0°C.

Недостатки:

- безвозвратные потери тепла вместе с удаляемыми парами воды в виде скрытой теплоты ее конденсации;
- безвозвратные потери тепла в явном виде, расходуемого на регенерацию адсорбирующих материалов путем их прокаливания;
- неэффективны в помещениях с высокой температурой воздуха.

При абсорбционном способе водяные пары из воздуха поглощаются жидкими поглотителями – растворами солей [4].

Достоинства:

- возможность получения воздуха с низким влагосодержанием.

Недостатки:

- опасность уноса солевого раствора потоком осушаемого воздуха и его последующего оседания на металлических поверхностях, что может привести к дополнительной коррозии металла вместо защиты от нее;
- большой объем оборудования.

Для музейных помещений преимущественно используются осушители конденсационного типа [3].

Рассмотрим три варианта систем вентиляции и кондиционирования воздуха:

- приточная система с охладителем;
- приточная система с рекуперацией;
- система с рециркуляцией и утилизацией тепла внутреннего воздуха.

Вариант 1 (рис. 1) – для ассимиляции избытков влаги подается нагретый осушенный наружный воздух. Система представляет собой отдельную приточно-вытяжную систему. Приток состоит из двух водяных нагревателей, охладителя и вентилятора.

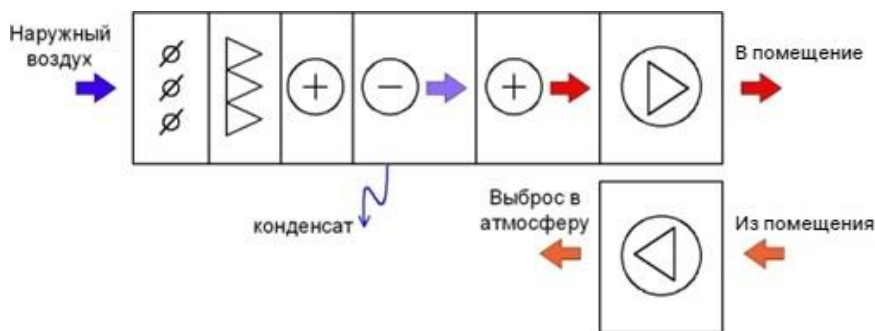


Рис. 1. Приточная схема

Потребляемая осушителем электрическая мощность:  $N_{эл}$ , кВт.

Количество теплоты, необходимое на нагрев воздуха:

$$Q_{тепл} = Gc\Delta t, \quad (1)$$

где  $G$  – расход воздуха в помещении, м<sup>3</sup>/ч;  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · °С);  $\Delta t$  – разность температур внутреннего и наружного воздуха.

Вариант 2 (рис. 2) – для ассимиляции избытков влаги подается нагретый осушенный наружный воздух. Для использования теплоты удаляемого воздуха установлен

теплообменник, что позволяет экономить значительное количество энергии, требуемой на обогрев [5]. Система состоит из приточной и вытяжной установок, охладителя, водяного нагревателя и пластинчатого теплообменника (рекуператор тепла).

Потребляемая осушителем электрическая мощность:  $N_{эл}$ , кВт.

Из расчета вар. 1 по формуле (1) на нагревание наружного воздуха теоретически требуется  $Q_{тепл}$ . Пластинчатый теплообменник рекуперировывает 50% тепла из удаляемого воздуха [5]:

$$Q_{рек} = 0,5Q_{тепл}. \quad (2)$$

Количество теплоты, необходимое на нагрев воздуха:

$$Q = Q_{тепл} - Q_{рек}. \quad (3)$$

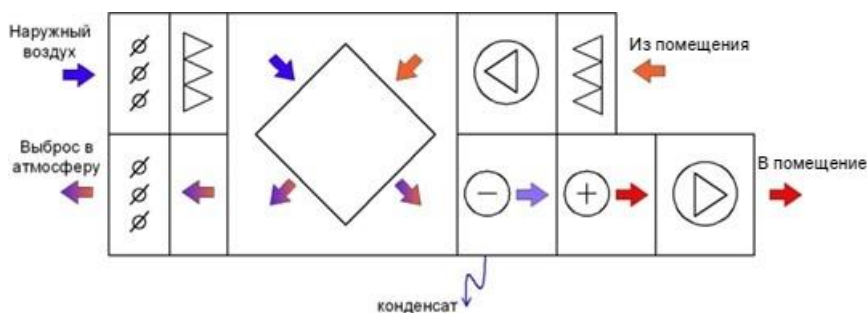


Рис. 2. Схема с рекуперацией

Вариант 3 (рис. 3) – для ассимиляции избытков влаги подается смесь осушенного воздуха и нагретого наружного воздуха. Система состоит из приточной и вытяжной установок, пластинчатого теплообменника, водяного нагревателя и теплового насоса. Пластинчатый теплообменник играет роль рекуператора тепла – нагрев приточного воздуха. Тепловой насос выполняет две функции: осушает рециркуляционный воздух и догревает смесь наружного и внутреннего воздуха [5].

В дневной период работы музея на нагревание наружного воздуха теоретически требуется  $Q_{тепл}$ , определяемой по формуле (1); пластинчатый теплообменник рекуперировывает 50% тепла из удаляемого воздуха (см. формулу (2)); тепловой насос рекуперировывает оставшуюся теплотребность согласно (3).

Коэффициент энергетической эффективности КЭЭ теплового насоса – 4 [5].

Электрическая мощность, расходуемая в тепловом насосе:

$$N_{эл} = Q/4. \quad (4)$$

В ночном режиме работы музея происходит полная рециркуляция без наружного воздуха с осушением внутреннего. Выделение тепла в тепловом насосе при осушении воздуха от выпадения влаги:

$$Q_{вл} = \sum W r_{скр}, \quad (5)$$

где  $\sum W$  – суммарное количество влагопоступлений;  $r_{скр}$  – скрытая теплота на испарение влаги.

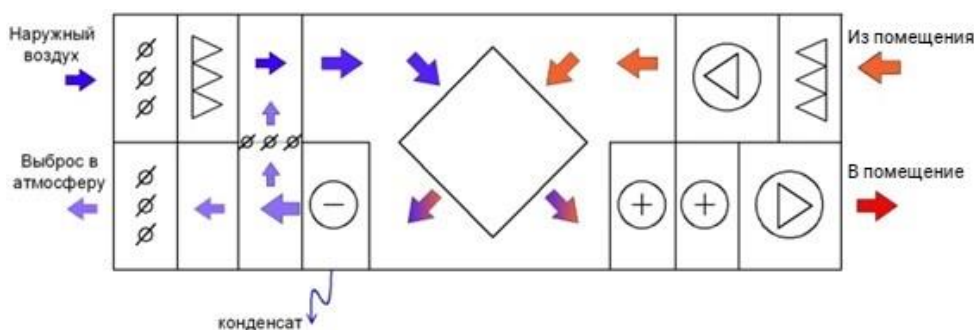


Рис. 3. Схема с рециркуляцией и утилизацией тепла внутреннего воздуха

*Выводы.* Для поддержания стабильных значений относительной влажности воздуха в помещениях музея в некоторых случаях требуется использование осушителей. В работе рассмотрены существующие способы осушения воздуха, наиболее целесообразным вариантом для музеев является применение конденсационных осушителей. Также рассмотрено три варианта схем вентиляции и кондиционирования воздуха.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Болотов Е.Н. Сохранить наследие: микроклимат музеев// АВОК. – 2018. – №1 – С.4–14.
2. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. М. : Стройиздат, 1990. 624 с.
3. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006. – 640 с.: ил. – (Библиотека климатехника).
4. Вишневецкий Е.П. Анализ особенностей использования основных методов осушения воздуха // Журнал С.О.К. – 2004. – №3.
5. Вишневецкий Е.П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // Журнал С.О.К. – 2004. – №11.

УДК 697

А.И. Кудрявцева, О.В. Аверьянова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ТЕПЛОГО ПОЛА НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Система водяного теплого пола представляет собой сеть греющих труб, встроенных в пирог покрытия. Теплоноситель – вода, нагреваемая в пределах 30-60 °С. Теплые трубы прогревают стяжку, в которую они уложены, соответственно, прогревается и слой финишного покрытия. Далее с поверхности пола тепло передается в помещение за счет конвекции и теплового излучения. В настоящее время при выборе основной системы отопления все чаще предпочтение отдают системе водяного теплого пола. Это связано с тем, что технология значительно модернизировалась – правильно запроектированная система в меньшей степени воздействует на организм человека в негативном ключе. Одно из главных преимуществ системы напольного отопления – распределение температуры в объеме помещения. В отличие от случая применения традиционных радиаторов, когда наиболее прогретые зоны находятся в верхней части помещения, в случае применения напольного отопления тепло от пола до потолка распределяется постепенно и равномерно по всей площади, более того, температурный режим в помещении в этом случае наиболее близок к «идеальному». Также выделяют следующие преимущества: возможность установки в помещениях, где затруднительно применение радиаторов и экономию на энергозатраты, которая может находиться в пределах 10–45% [1–5].

*Актуальность исследования* обуславливается популяризацией использования системы напольного отопления в качестве альтернативного источника отопления, соответственно, для оптимизации такой системы необходимо всестороннее ее исследование.

*Цель исследования:* изучение взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров системы водяного напольного отопления.

*Задачи исследования:*

1. Изучить распределение температуры на поверхности теплого пола при разном шаге укладки греющих труб.

2. Оценить влияния температуры теплоносителя и шага укладки греющих труб на среднюю температуру поверхности водяного теплого пола.

3. Оценить влияние температуры теплоносителя и шага укладки греющих труб на максимальный перепад температуры на поверхности теплого пола.

4. Изучить влияние материала финишного слоя на распределение температуры по поверхности теплого пола.

*Метод исследования:*

Для расчетов использовался ПК ELCUT, основанный на решении задач методом конечных элементов. Тип задачи – плоскопараллельная задача стационарной теплопередачи.

Конструкция водяного теплого пола, рассматриваемая при расчетах, приведена на рис. 1.

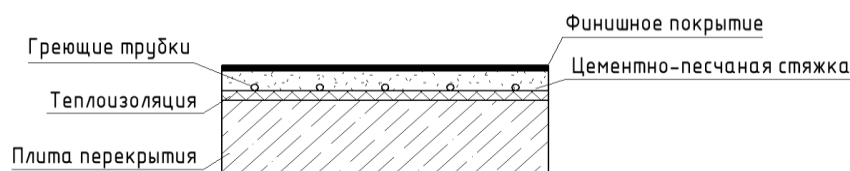


Рис. 1. Слои пирога водяного теплого пола

На монолитной ж/б плите перекрытия толщиной 200 мм уложен слой теплоизоляции толщиной 25 мм, на нем расположены греющие трубы диаметром 16 мм с переменным шагом укладки. Трубы залиты цементно-песчаной стяжкой толщиной 50 мм. На стяжку уложен финишный слой толщиной 15 мм (при расчетах в качестве финишного покрытия рассматривались керамогранитная плитка, керамическая плитка, ламинат и паркетная доска).

Граничные условия: температура воздуха в помещении +20 °С, коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 5 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}^2$ . Расчеты выполнялись при разной температуре теплоносителя (30–45 °С) и разном шаге укладки греющих труб (100–250 мм).

*Результаты исследования:*

На рис. 2 приведена зависимость температуры на поверхности теплого пола от шага укладки греющих труб. (На оси абсцисс указан множитель расстояния вдоль поверхности пола, например 2,0 соответствует 200, 300, 400 или 500 мм в зависимости от шага укладки).

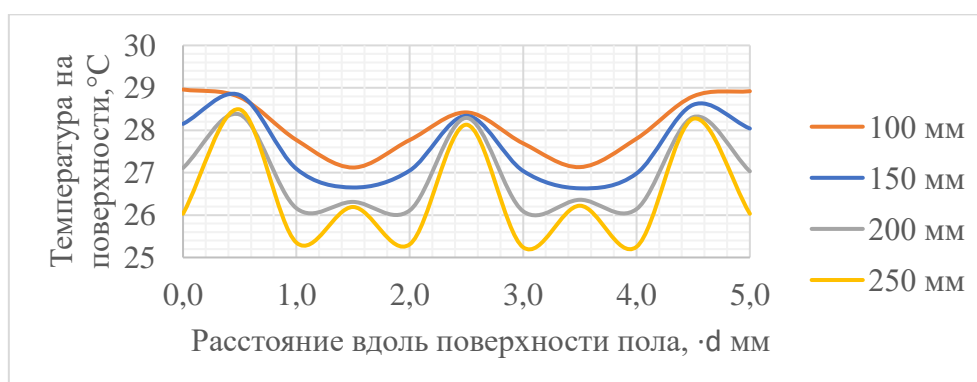


Рис. 2. Распределение температуры на поверхности водяного теплого пола

На рис. 3 и 4 приведены полученные зависимости средней температуры поверхности водяного теплого пола и максимального перепада температуры на поверхности от температуры теплоносителя и шага укладки греющих труб.

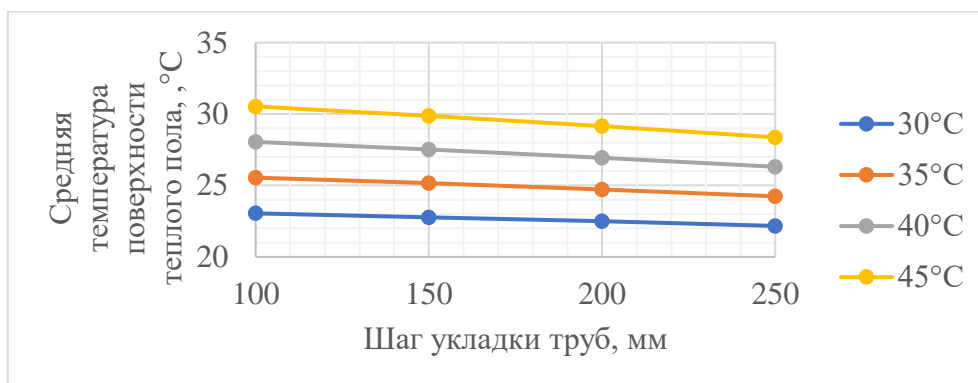


Рис. 3. Зависимость средней температуры поверхности теплого пола от температуры теплоносителя и шага укладки

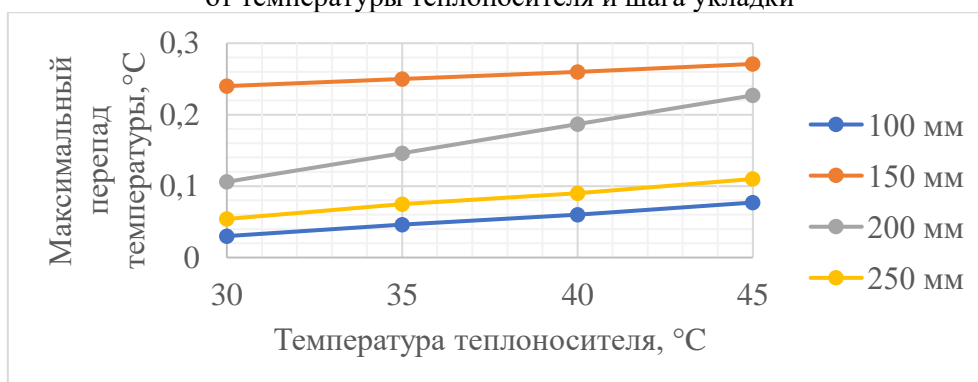


Рис. 4. Зависимость максимального перепада температуры на поверхности от температуры теплоносителя и шага укладки

В таблице 1 приведены значения средней температуры на поверхности теплого пола в зависимости от температуры теплоносителя и материала финишного покрытия.

Таблица 1 – Средняя температура поверхности пола в зависимости от покрытия

Материал покрытия	Температура теплоносителя, °C			
	30	35	40	45
Керамогранитная плитка	23,83	26,73	29,62	32,49
Керамическая плитка	24,84	28,23	31,61	34,99
Ламинат	23,56	26,32	29,07	31,81
Паркетная доска	22,78	25,16	27,53	29,88

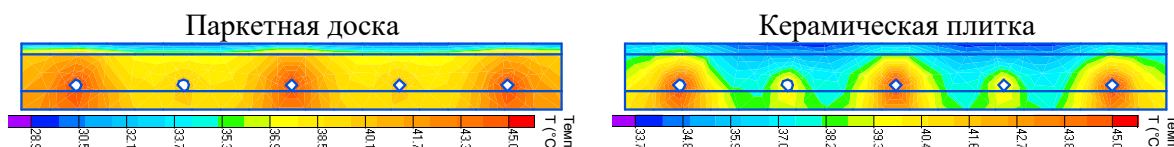


Рис. 5. Распределение температуры между слоями теплого пола

### Выводы

Анализируя график, представленный на рис. 2, можно сделать вывод, что зона поверхности пола с максимальной температурой расположена над греющими трубами. С увеличением шага укладки уменьшается значение максимальной температуры, однако при этом увеличивается неравномерность распределения тепла по площади.

Средняя температура поверхности теплого поля является одной из основных характеристик системы. Как следует из результатов расчетов (рис. 3 и рис. 4), зависимости средней температуры поверхности и максимального перепада температуры от шага укладки греющих труб имеет линейный характер в обоих случаях. Это важно учитывать при расчетах, так как известно, что перепад температуры, превышающий 2 °С, может восприниматься человеком как дискомфортный.

Результаты, представленные в таблице 1 и на рис. 5 позволяют проанализировать температурное воздействие на тот или иной материал отделочного слоя. Видно, что наименьшее колебание температуры (в пределах 7 °С) при изменении температуры теплоносителя с 30 °С до 45 °С в случае применения паркетной доски, что связано с низким значением теплопроводности данного материала. Напротив, при применении керамической плитки, перепад температуры составляет 10 °С. Напольные покрытия с высокой теплоустойчивостью дольше сохраняют тепло и уменьшают колебания температуры на поверхности.

Таким образом, в результате исследования определен характер взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров системы водяного теплого пола.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Olesen B.W. Теория и практика напольного лучистого отопления // АВОК. 2003, №1. С. 44–52.
2. Bearzi V. Теплые полы. Теория и практика// АВОК. 2005, №7, С. 70–82.
3. Писарев Е. Теплый пол. Водяной или электрический // Самиздат. 2012. 48 с.
4. Руденко Н.Н., Фурсова И.Н., Дьяченко А.С. Исследование распределения температур в системе напольного отопления // Инженерный вестник Дона – 2018 – № 1– С. 38–41.
5. Верховинский И.Л., Яблонский Е.Ю., Бундигов А.В. Современные энергосберегающие отопительные системы с использованием теплого пола // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №1 (170).

УДК 621.57

М.В. Руссу, О.А. Соловьёва

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ПОДБОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА

Энергопотребление систем кондиционирования воздуха (СКВ) имеет большое значение, поскольку для жилых, административных и офисных помещений доля, приходящаяся на СКВ в общем годовом энергопотреблении, составляет около 20% только на охлаждение, что существенно влияет на эксплуатационные расходы по содержанию здания. [1] Энергопотребление определяется теплопоступлениями в кондиционируемое помещение и энергоэффективностью системы кондиционирования, обеспечивающей отвод из помещения тепла. Соответственно, энергосбережение на кондиционирование здания можно обеспечить, сократив теплопоступления либо повысив энергоэффективность СКВ [2].

При создании и эксплуатации сложных систем холодоснабжения требуется обычно проводить многочисленные исследования и расчеты с оценкой различных технических и технико-экономических показателей, характеризующих свойства как отдельных подсистем, так и системы в целом; выбором оптимальных структур отдельных подсистем и структуры всей системы; выбором оптимальных значений параметров системы.

*Целью работы* является расчет теплопритоков в конференц-зале и определение тепловой нагрузки для подбора центробежного компрессора холодильной машины.

Объектом исследования является холодильная машина в инженерных системах зданий и сооружений.

Предметом исследования являются характеристики холодильных машин, полученные во время проведения расчетов.

Холодильная машина состоит из следующих основных деталей и узлов: компрессора, ресивера, конденсатора, испарителя, терморегулирующего вентиля, осушительного патрона.

Компрессором называют машину, предназначенный для сжатия газов за счет механической энергии. Механическую энергию компрессор получает от привода, как правило, электрического. Для сжатия хладагента используются компрессоры различных типов: объемного принципа действия (поршневые, винтовые, спиральные, ротационные) и динамического принципа действия (центробежные, осевые). Центробежные компрессоры входят в группу компрессоров динамического типа с радиальной конструкцией. Главным преимуществом установок данного типа является их высокая производительность, которая в разы превышает показатели других видов. Благодаря этому центробежные воздушные компрессоры, устройство которых позволяет использовать их при интенсивной эксплуатации, широко применяются.

Рассмотрим теплотехнический расчет и расчет теплопритоков с целью подбора компрессора на примере конференц-зал площадью  $130 \text{ м}^2$  с внутренней температурой воздуха  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  [3] Санкт-Петербурге (рис. 1).



Рис. 1. План кондиционируемого помещения

Согласно источникам литературы [4,5], были рассчитаны и приняты следующие ограждающие конструкции, соответствующие нормируемым приведенным сопротивлениям теплопередаче для принятого региона:

1. Наружные оштукатуренные стены с сопротивлением теплопередаче  $R_0 = 2,55 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;
2. Перекрытие над неотапливаемым подвалом с температурой  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  с сопротивлением теплопередаче  $R_0 = 3,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;
3. Светопрозрачные конструкции (окна). При проектировании приведенное сопротивление теплопередаче окон  $R_0$  необходимо принимать не менее требуемых значений  $R_0^{\text{TP}}$  [5]. Откуда определяем интерполированием  $R_0^{\text{TP}} = R_0 = 0,654 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

При проектировании СКВ отдельно определяют теплопритоки в кондиционируемые помещения. За основу используем методику учебного пособия Б.К. Явнеля. [6]

Количество теплоты, поступающей в кондиционируемое помещение или уходящее из него, подсчитывают по формуле (1):

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – теплопритоки через ограждающие конструкции и от действия солнечной радиации;  $Q_2$  – теплопритоки от продуктов и материалов (отсутствуют в зависимости от назначения);  $Q_3$  – теплопритоки с наружным воздухом, проникающим в кондиционируемое помещение с вентиляционным воздухом или от инфильтрации через щели в ограждающих конструкциях;  $Q_4$  – эксплуатационные теплопритоки.

Трансмиссионные теплопритоки через массивные участки стен, перегородки, полы, перекрытия и покрытия рассчитываются по формуле (2):

$$Q_{1т} = k_d F \theta = k_d F (t_n - t_b), [\text{Вт}] \quad (2)$$

где  $k_d$  – коэффициент теплопередачи ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $F$  – расчетная площадь поверхности ограждения (наружной стены –  $30,2 \text{ м}^2$ , плиты перекрытия –  $130 \text{ м}^2$ , окон –  $13,6 \text{ м}^2$ );  $t_n$  и  $t_b$  – расчетные температуры наружного ( $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и внутреннего воздуха.

Трансмиссионные теплопритоки:

$$Q_{1т} = Q_{1т ст} + Q_{1т пл} + Q_{1т ок} = 58,89 + 208 + 104,04 = 370,93 \text{ Вт} \approx 371 \text{ Вт}.$$

Теплопритоки от солнечной радиации  $Q_{1с}$  в кондиционируемое помещение складываются из теплопритоков через массивные ограждения зданий и теплопритоков через световые проемы определяются по формуле (4):

$$Q_{1с} = Q_{1с}^{\text{масс}} + Q_{1с}^{\text{свет}}, [\text{Вт}] \quad (4)$$

Величину теплопритока от радиации только через световые проемы подсчитывают отдельно для каждой стороны горизонта по формуле (5):

$$Q_{1с}^{\text{свет}} = Q_{ок} F \tau, [\text{Вт}] \quad (5)$$

$$Q_{1с}^{\text{свет}} = 340 \cdot 0,7 \cdot 13,6 \cdot 0,7 = 2265,76 \text{ Вт}.$$

где  $Q_{ок}$  – удельный теплоприток от солнечной радиации через окна с одинарным остеклением в деревянных рамах,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (для географической широты Санкт-Петербурга для теплого периода года –  $340$ ) [6], умноженный на поправочный коэффициент: для окон с двойным остеклением и витрин в металлических переплетах –  $0,7$ , при условии, что наружная стена с окнами ориентирована на запад;  $F$  – площадь светового проема,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – коэффициент затенения, учитывающий влияние затеняющего устройства на уменьшение теплопритока из-за солнечной радиации, при наличии жалюзи составляет  $0,7$ .

Теплоприток от солнечной радиации через наружные стены определяют по формуле (6):

$$Q_{1с}^{\text{масс}} = k_d F \Delta t_c, [\text{Вт}] \quad (6)$$

$$Q_{1с}^{\text{масс}} = 1,53 \cdot 30,2 \cdot 7,2 = 332,68 \text{ Вт},$$

где  $k_d$  – действительный коэффициент теплопередачи ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $F$  – расчетная площадь поверхности ограждения;  $\Delta t_c$  – избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации в летнее время,  $^\circ\text{C}$  (для наружных стен избыточную разность температур для побеленной штукатуркой с окраской в темные тона стены, ориентированной на запад, –  $7,2 \text{ }^\circ\text{C}$  [6]).

Теплопритоки от солнечной радиации:

$$Q_{1с} = 2265,72 + 332,68 = 2598,4 \text{ Вт}.$$

Теплоприток с вентиляционным воздухом подсчитывают по формуле (7):

$$Q_{зв} = L_n \rho (t_n - t_b), [\text{кВт}] \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t_n$  и  $t_b$  – расчетные температуры наружного воздуха и воздуха в помещении,  $^\circ\text{C}$ ;  $L_n$  – объемный расход наружного воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ , подаваемого для целей вентиляции, определяют по формуле (8):

$$L_n = n L_{тр}, [\text{м}^3/\text{с}] \quad (8)$$

$$L_n = 118 \cdot 25 = 2950 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,819 \text{ м}^3/\text{с}.$$

где  $n$  – число людей в помещении: тип зрительного зала – конференц-зал без пюпитров у кресел, по расчету  $118$  человек [7];  $L_{тр}$  – требуемый объемный расход воздуха в помещении по нормам на  $1$  человека,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , для общественных зданий при отсутствии курения –  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$  [6].



Теплоприток с вентиляционным воздухом:

$$Q_{зв} = 0,819 \cdot 353 / 20^{\circ}\text{C} \cdot (25 - 20) = 72,3 \text{ кВт.}$$

Количество теплоты, выделяемой людьми, подсчитывают по формуле (9):

$$\begin{aligned} Q_{4л} &= q_{\text{чел}} \cdot n, [\text{Вт}] \\ Q_{4л} &= 150 \cdot 118 = 17700 \text{ Вт,} \end{aligned} \quad (9)$$

где  $q_{\text{чел}}$  – количество теплоты, выделяемой одним человеком в зависимости от температуры воздуха в помещении и рода выполняемой работы, при легкой работе сидя в помещении составляет 150 Вт [8];  $n$  – число людей, одновременно находящихся в помещении.

Теплопритоки от электрического освещения определяют по формуле (10):

$$\begin{aligned} Q_{\text{осв}} &= q_{\text{осв}} F_{\text{конф}}, [\text{Вт}] \\ Q_{\text{осв}} &= 20 \cdot 130 = 2600 \text{ Вт,} \end{aligned} \quad (10)$$

где  $q_{\text{осв}}$  – поверхностная плотность теплового потока от приборов освещения, 20 Вт/м<sup>2</sup> [9];  $F_{\text{конф}}$  – площадь конференц-зала.

Определяя суммарную тепловую нагрузку на СКВ, необходимо учитывать неодновременное действие теплопритоков от различных источников. Так, теплопритоки от солнечной радиации и от освещения вечером воздействуют несовместно, поэтому в расчете принимают только большую из них.

Итак, количество теплоты, поступающей в помещение:

$$\Sigma Q = 371 + 2600 + 72300 + 17700 = 92971 \text{ Вт.}$$

В качестве хладагента был выбран фреон R-134a.

Определение массового расхода циркулирующего хладагента, требуемого для отвода теплопритоков для холодильной камеры, осуществляется по формуле (11):

$$\begin{aligned} G &= \frac{Q_{\text{хол}}}{\Delta i}; \\ G &= \frac{92,971}{412 - 230} = 0,51 \text{ кг/ч,} \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\Delta i$  – удельная энтальпия (разность значений в точках 4 и 1), кДж/кг.

*Вывод*

В работе были получены основные характеристики центробежного компрессора – холодопроизводительность, рабочие точки (энтальпии) и массовый расход хладагента R-134a, подходящие для работы холодильной машины конференц-зала г. Санкт-Петербург.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хведченя О.В. Эффективность работы чиллера // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений», 2013, №1 (6). – Санкт-Петербург. – 11 с.
2. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы кондиционирования и вентиляции воздуха. Изд-во ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2003. С. 478–481.
3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях;
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*.
6. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха: учебники и учебные пособия для учащихся техникумов. – 222 с.
7. СП 118.13330.2022. Общественные здания и сооружения.
8. Богословский В.Н., Пирумов А.И., Посохин В.Н. и др. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с. (Справочник проектировщика).
9. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОПРИТОКОВ В ОХЛАЖДАЕМЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПОДБОРА КАМЕРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ И КОМПРЕССОРОВ

*Актуальность* темы обоснована тем, в условиях постоянного технологического прогресса и стремительного развития промышленности, эффективное использование энергии становится ключевым фактором для повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат [1]. Одним из важных аспектов в данном контексте является методика расчета приборов в охлаждаемых помещениях и определение тепловой нагрузки. Эти данные играют решающую роль при подборе камерного оборудования и компрессоров, что напрямую влияет на энергопотребление и надежность системы [2].

*Целью работы* является описание расчета теплопритоков в охлаждаемых помещениях и определения тепловой нагрузки для подбора компрессоров.

В обеспечении требуемой температуры в охлаждаемом помещении, таком как камера холодильника, существенное значение приобретает эффективное управление тепловыми потоками. Эффективное функционирование системы достигается благодаря регулированию всех тепловых воздействий с применением камерного оборудования, включая батареи и воздухоохладители (рис. 1).

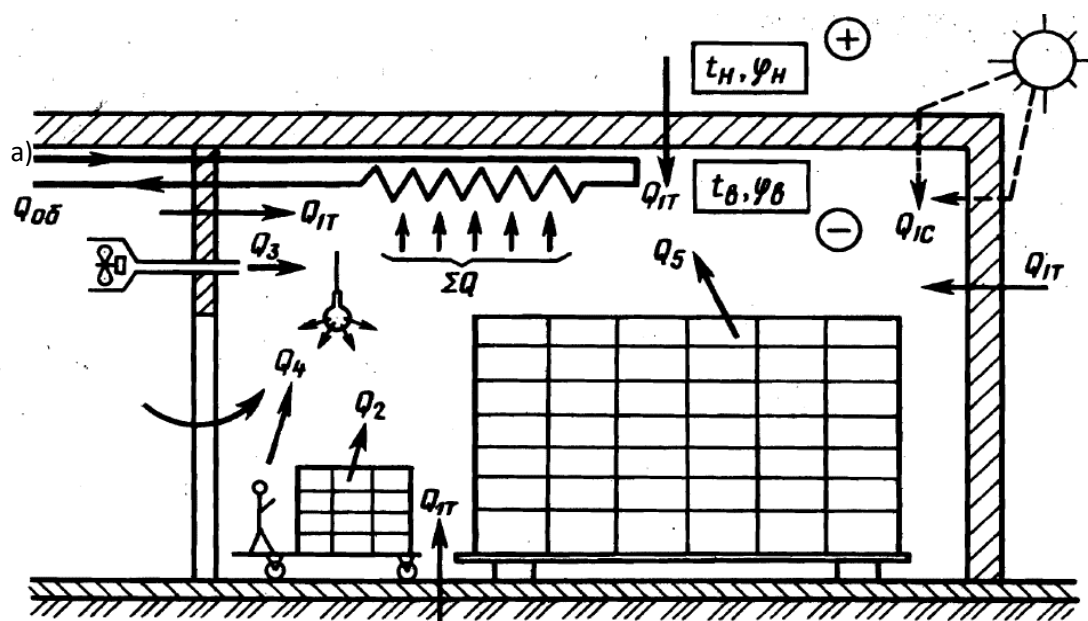


Рис. 1. Схема теплопритоков в охлаждаемом помещении [3]

При определении нагрузки учитывают следующие теплопритоки: через ограждающие конструкции  $Q_1$ ; от продуктов (грузов) или материалов при их холодильной обработке (охлаждение, замораживанием, домораживание)  $Q_2$ ; с наружным воздухом при вентиляции помещений  $Q_3$ ; от различных источников при эксплуатации камер  $Q_4$ ; от фруктов и овощей в процессе «дыхания», необходимом для жизнедеятельности клеток  $Q_5$ . Нагрузку на камерное оборудование определяют как сумму всех теплопритоков на данную камеру, так как камерное оборудование должно обеспечить отвод теплоты при самых неблагоприятных условиях:

$$\Sigma Q_{\text{хол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_{\text{об}}. \quad (1)$$

Теплопритоки через ограждающие конструкции  $Q_1$  определяют как сумму теплопритоков (через стены, перегородки, перекрытия или покрытия через полы,), вызванных наличием разности температур снаружи ограждения и внутри охлаждаемого помещения  $Q_{1т}$ , а также теплопритоков в результате воздействия солнечной радиации  $Q_{1с}$ , через покрытия и наружные стены.

Теплопритоки через ограждающие конструкции  $Q_{1т}$  (в кВт) рассчитывают по формуле:

$$Q_{1т} = k_d F \theta \cdot 10^{-3} = k_d F (t_n + t_b) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где  $k_d$  – действительный коэффициент теплопередачи ограждения, определяемый при расчете толщины изоляционного слоя согласно [4], Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $F$  – расчетная площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;  $\theta$  – расчетная разность температур (температурный напор);  $t_n$  – расчетная температура воздуха с наружной стороны ограждения (принимают по [5]), °С;  $t_b$  – расчетная температура воздуха внутри охлаждаемого помещения, °С.

Теплоприток от солнечной радиации через наружные стены и покрытия холодильников  $Q_{1с}$  (в кВт) определяют по формуле

$$Q_{1с} = k_d F \Delta t_c \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $F$  – площадь поверхности ограждения, облучаемой солнцем, м<sup>2</sup>;  $\Delta t_c$  – избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации в летнее время, °С.

При холодильной обработке продуктов (охлаждении, замораживании и домораживании) каждый килограмм продукта выделяет теплоту в количестве  $q = \Delta i$  кДж/кг. Кроме того, если происходит холодильная обработка в таре, то необходимо добавить теплоту, выделяющуюся при ее охлаждении.

Теплоприток  $Q_{2пр}$ , кВт при охлаждении и домораживании продуктов в камерах хранения определяют по формуле

$$Q_{2пр} = M_{пр} \Delta i \frac{10^3}{24 \cdot 3600}. \quad (4)$$

Эксплуатационные теплопритоки возникают вследствие освещения камер, пребывания в них людей, работы электродвигателей и открывания дверей. Эксплуатационные теплопритоки  $Q_4$  (в кВт) определяются, как сумма теплопритоков отдельных видов:

$$Q_4 = AF \cdot 10^{-3} + 0,35n + N + KF \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $A$  – теплота, выделяемая истоками освещения в единицу времени на 1 м<sup>2</sup> площади пола, Вт/ м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь камеры, м<sup>2</sup>; 0,35 – тепловыделение одного человека при тяжелой физической работе, кВт;  $n$  – число людей, работающих в данном помещении;  $N$  – суммарная мощность электродвигателей, кВт;  $K$  – удельный приток теплоты от открывания дверей (принимаемый по табл. 9.2 пособия [3]), Вт/м<sup>2</sup>.

Теплопритоки от фруктов и овощей при «дыхании» учитывают только на специализированных холодильниках для хранения продуктов и в таких же камерах распределительных холодильников. Теплоприток  $Q_5$  (в кВт) можно определить по формуле

$$Q_5 = V_k (0,1q_n + 0,9q_{xp}) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где  $V_k$  – вместимость камеры, т;  $q_n, q_{xp}$  – тепловыделения плодов при температурах поступления и хранения, определяемые по приложению 8 [3], Вт/т.

Исходя из вышеописанной методики, были посчитаны теплопритоки в охлаждаемые помещения и нагрузку на компрессоры холодильника для фруктов и овощей вместимостью 1000 т, расположенного в г. Санкт-Петербург. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Суммарные значения теплопритоков

№ пом.	Назначение	Площадь камеры $F_k$ , м <sup>2</sup>	Нагрузка на камерное оборудование, кВт				
			$Q_1$	$Q_2$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_{об}$
1	Хранение фруктов	211,52	5,141	35,96	10,74	4,60	56,44
2	Хранение фруктов	211,52	4,332	35,96	10,74	4,60	55,63
3	Хранение овощей	211,52	4,332	35,96	10,74	5,55	56,58
4	Хранение овощей	211,52	5,171	35,96	10,74	5,55	57,42
Итого							226,07

В качестве рабочего вещества холодильной машины (рис. 2,а) был выбран фреон R-134a (тетрафторэтан) [6].

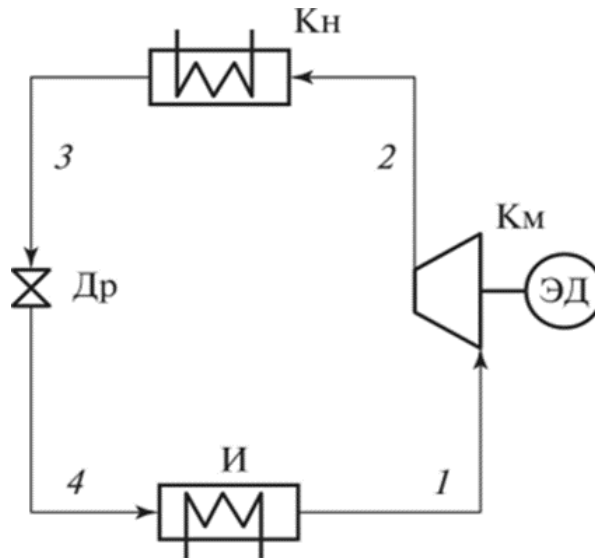


Рис. 2. Схема парокомпрессионной холодильной установки

Определение массового расхода циркулирующего хладагента в испарителе, требуемого для отвода теплопритоков для холодильной камеры, осуществляется по формуле:

$$G_{хк} = \frac{Q_{хол}}{\Delta i} = \frac{226,07}{407,61 - 221,87} = 1,217 \frac{кг}{ч},$$

где  $\Delta i$  – удельная энтальпия (разность значений в точках 4 и 1), кДж/кг.

*Вывод.* В работе была получена холодопроизводительность для подбора компрессора, определены рабочие точки и вычислено значение массового расхода хладагента. Полученные значения будут использованы при дальнейшем исследовании.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хведченя О. В. Эффективность работы чиллера // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – №. 1. – С. 55–65.
2. Wang X. et al. Stepwise Optimization Method of Group Control Strategy Applied to Chiller Room in Cooling Season // Buildings. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 487.
3. Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – 1988.
4. СП 109.13330.2012. Свод правил. Холодильники // Минстрой России. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/1904/> (дата обращения: 01.03.2024).
5. СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология // Минстрой России. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/118243/> (дата обращения: 01.03.2024).
6. Хладагент, фреон, хладон (Холодильный агент, Refrigerant) Refrigerant 134a // Инженерный справочник. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuideMedias/CoolingAgents/R134aList/R134apropertiesASHR/> (дата обращения: 01.03.2024).

## ВЫБОР СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

*Целью работы* является обоснование выбора системы кондиционирования, удовлетворяющей технологические требования.

*Актуальность работы* – создание комфортных и безопасных условий пребывания, как персонала медицинских учреждений, так и лечащихся, а также соблюдение жестких требований, которые предъявляются при проектировании таких объектов.

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных его параметров (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определенном уровне с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса [1].

Качественный воздух в медицинских учреждениях не просто повышает уровень комфорта, но и является обязательным условием. Чистый воздух способствует уменьшению вероятности распространения инфекций воздушно-капельным путем, улучшает общее состояние пациентов, снижает усталость и уровень стресса у персонала, повышая их работоспособность и сосредоточенность.

В медицинских учреждениях существуют особые требования относительно микроклиматических параметров, поскольку поддержание значений температуры и влажности воздуха в строго заданных диапазонах и обеспечение высокого качества очистки воздуха в конечном итоге жизненно необходимо для пациентов. Системы кондиционирования для учреждений медицинского и лечебного назначения, согласно требованиям [3], в зависимости от места использования могут быть двух типов [2]:

1. Комнаты и блоки лечебно-профилактических организаций, где допускается циркуляция воздуха. Это административные кабинеты, комнаты отдыха, столовые, склады, приемные отделения, коридоры, физкультурные залы и прочие. Здесь возможно применение бытовых или полупромышленных сплит-систем.
2. Помещения, в которых недопустима рециркуляция воздуха. Это операционные, наркозные, родильные отделения, реабилитационные палаты, отделения рентгена, флюорографии, физиотерапии, реанимации, интенсивной терапии, детские палаты, туберкулезные и т.д. При этом соблюдаются нормы [4].

В помещениях второго типа должны соблюдаться определенные параметры воздуха: температура (21–24°C), влажность (55–60%), скорость движения воздуха (0,1–0,2 м/с). Требуемая область оптимальных параметров показана на рис. 1.

По диаграмме видно, что для обеспечения данных параметров микроклимата необходимо специальное оборудование. Медицинские прецизионные кондиционеры полностью соответствуют этим требованиям.

При выборе прецизионной системы для использования в медицинских помещениях без допуска рециркуляции воздуха необходимо обратить внимание на следующие параметры:

1. В операционных должна быть установлена система ламинарного потока;
2. Приток свежего воздуха должен осуществляться через фильтры HEPA;
3. Системы кондиционирования воздуха должны быть оснащены устройствами для обеззараживания воздуха [6].
4. Подача воздуха в операционных выполняется по ламинарной схеме (рис. 2). Она применяется в операционных для создания дополнительного уровня антисептической

защиты. Приточные диффузоры кондиционера 1 располагаются непосредственно над операционным столом 2, а их конструкция такова, что нисходящие потоки чистого воздуха ограждают операционную зону своеобразной воздушной завесой [5] и далее отработанный воздух поступает в систему вытяжной вентиляции 3.

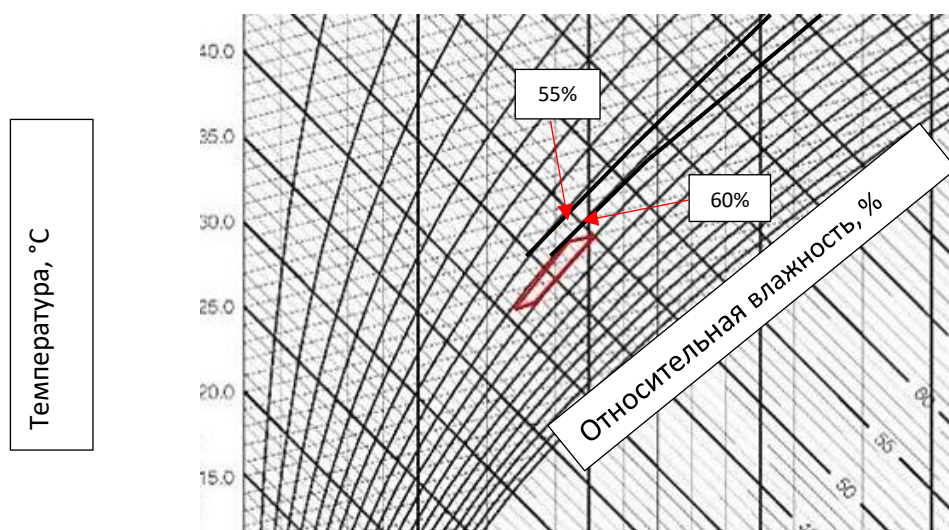


Рис. 1. ID диаграмма влажного воздуха

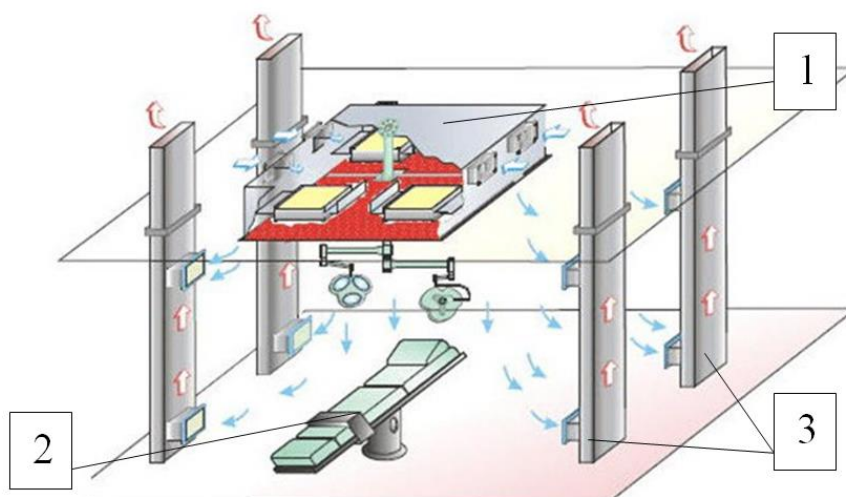


Рис. 2. Ламинарная схема

В соответствии с [7] медицинским помещениям присваивается номер группы, в соответствии с которым система фильтров должна иметь 4 ступени очистки (точный состав фильтров зависит от группы):

- 1-ая ступень – фильтр грубой очистки класса G4;
- 2-ая и 3-я ступень – фильтры тонкой очистки F5-F9;
- 4-ая ступень – фильтры высокоэффективной очистки H11-H14.

Согласно [8] существует несколько способов обеззаразить воздух, подающийся в помещение:

1. Самым распространенным является ультрафиолетовая (УФ) обработка бактерицидными лампами (ртутные лампы низкого давления, ртутно-кварцевые лампы высокого давления, ксеноновые короткоимпульсные лампы) и бактерицидными облучателями (электротехническое устройство, состоящее из бактерицидной лампы и отражателя, закрытого

и открытого типов). Основным достоинством данных технологий является генерирование излучения с диапазоном 205–315 нм, обеспечивающего наибольшее бактерицидное действие. Недостатками такого способа являются отсутствие возможности удалять запахи, необходимость использования средств индивидуальной защиты при использовании открытых облучателей, повышенные требования к эксплуатации и утилизации ламп, которые содержат ртуть, высокая стоимость импульсных ксеноновых ламп.

2. Воздействие аэрозолями дезинфицирующих средств. Их антимикробное действие основывается на испарении частиц аэрозоля и концентрации его паров на бактериальном субстрате, а также на выпадении неиспарившихся частиц на поверхности и образование бактерицидной пленки. Преимущества такого метода состоят в высокой эффективности при обработке больших помещений, экономичности и возможности выбора наиболее адекватного режима применения за счет варьирования режимов работы генератора. Недостаток данного метода состоит в опасности химического воздействия на людей, которое влечет за собой необходимость использования дополнительных средств защиты и применении только в отсутствие пациентов и медицинского персонала.

3. Воздействие озоном. Этот газ активно вступает в химические реакции с многими органическими соединениями. Это объясняет его выраженное бактерицидное действие. Озон активно реагирует со всеми структурами клетки, чаще вызывая нарушение проницаемости или разрушением клеточной мембраны. Недостатками такой технологии является опасность вредного химического воздействия на людей, коррозионное действие изделия из металла и повышенные требования безопасности при работе.

Анализируя вышеизложенную информацию, можно сделать *вывод*, что обеспечение необходимых требований к параметрам микроклимата и чистоты помещений – сложный и наукоемкий процесс, состоящий из множества важных составляющих, напрямую влияющих на здоровье людей и качество их лечения. Обеспечить такой уровень поддержания необходимых условий требуется специальное оборудование, конкретно в части кондиционирования это обеспечивается прецизионными кондиционерами, которые имеют специальные составные части, помогающие добить нужного результата.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2/Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера.-4-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1992. – 416 с: ил. (Справочник проектировщика).
2. Прецизионные кондиционеры для медицинских учреждений // Chiller PRO URL: <https://chiller-pro.ru/prim/precizionnyye-kondicionery-dlya-meditsinskih-uchrezhdenij.html> (дата обращения: 05.03.2024).
3. ГОСТ Р 51617-2000. Здания и помещения медицинских организаций. Санитарно-эпидемиологические требования к организации, оборудованию и содержанию.
4. СанПиН 2.08.02-89\*. Общественные здания и сооружения/Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 38 с.
5. Проектирование системы кондиционирования больницы // ООО «ЕвроХолод» URL: <https://www.airfresh.ru/Projektirovanie-sistemy-konditsionirovaniya-bolnitsy.html> (дата обращения: 06.03.2024).
6. Кондиционирование медицинских учреждений (больниц, поликлиник, госпиталей) // ООО «ИНЖСИСТЕМС» URL: <https://ceds.ru/blog/konditsionirovanie-meditsinskih-uchrezhdeniy/> (дата обращения: 07.03.2024).
7. ГОСТ Р 52539-2006. Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования.
8. Об утверждении СанПиН 2.1.3.2630-10. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность.

ВЫБОР ТЕПЛОВИЗОРА ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ  
ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

В современном строительстве ключевым аспектом является обеспечение комфортных условий для проживания или пребывания людей в здании. Однако, такие факторы, как естественный износ, влияние внешней среды или ошибки во время проектных и строительных работ оказывают неблагоприятное воздействие на качество жизни людей. В некоторых случаях сложно определить повреждения, отклонения от нормы при визуальном осмотре, но проблемные участки и утечки тепла лучше выявлять посредством применения теплового контроля, что может повысить эффективность работы инженерной системы и снизить расходы на энергоресурсы.

*Цель работы* – анализ основных характеристик тепловизоров для проведения тепловизионного контроля инженерных систем.

С введением Федерального закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», устанавливающего необходимость повышения энергетической эффективности и проведение мероприятий по энергосбережению, вырос интерес к тепловому контролю. Тепловизионный контроль является одним из видов неразрушающего контроля, основывающийся на взаимодействии теплового поля объекта с термометрическим чувствительным элементом и преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста лучистости и др.) в электрический или другой сигнал, который затем передается на регистрирующее устройство. Такой метод позволяет найти места расположения невидимых дефектов в системе, при этом не требуя демонтажа и не нарушая целостность контролируемого объекта [1].

Известно, что все физические тела, температура которых отлична от температуры абсолютного нуля ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), излучают во всем спектре электромагнитные колебания [2]. Из-за внутренних физико-химических процессов в источнике (колебания молекул, узлов решетки) возникает ИК-излучение, также называемое тепловым [3]. Так как человеческий глаз не может видеть инфракрасное излучение, были созданы приборы, с помощью которых человек способен увидеть объект в ИК-спектре, что позволяет наблюдать и анализировать тепловое излучение объектов. Данными приборами являются тепловизоры, фиксирующие инфракрасное излучение от объектов и преобразующие его в изображение видимого спектра. Далее материалы съемки (термограммы) обрабатываются, используя компьютерные программы, что помогает обнаружить зоны дефектов [4, 5].

Со временем инженерные сети утрачивают свои изначальные характеристики, также под влиянием внешних факторов возникают неисправности, повреждения. Для того, чтобы это не переросло в аварию и не пришлось перекладывать заново сети, необходимо регулярно проводить измерительно-диагностические мероприятия. Термограммы могут помочь выявить проблемные места в инженерных сетях, фиксируя значения температур, не соответствующие характеристикам объекта. Рис. 1,а иллюстрирует неравномерное распределение значений температуры поверхности отопительного прибора, возникающее при плохой циркуляции теплоносителя из-за образовавшегося осадка, что снижает его теплоотдачу. С помощью тепловизоров можно увидеть скрытую прокладку трубопроводов, что и показано на рис. 1,б и 1,г. Также на термограмме (рис. 1,в) благодаря разнице температур внутри здания и снаружи явно просматривается место возникновения теплопотерь вследствие неправильного демонтажа, что привело к нарушению целостности конструкции.



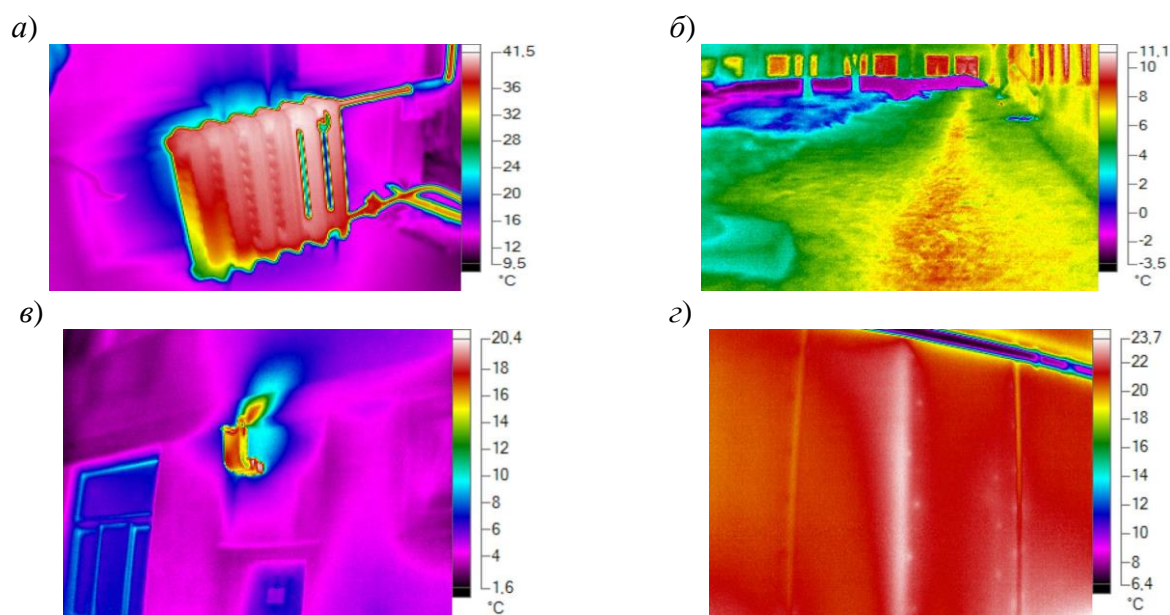


Рис. 1. Термограммы

Термография стала популярным методом тепловизионного контроля с развитием тепловизионной техники и с появлением различных по функциональному и техническому оснащению типов и моделей тепловизоров. Выбор применяемого прибора зависит от типа обследуемого объекта, температуры исследуемых областей, спектрального диапазона для измерения температуры данного объекта, среды в которой будет работать прибор.

Рассмотрим основные характеристики тепловизоров. В таблице 1 приведены примеры тепловизионных приборов популярных производителей разной ценовой категории.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика тепловизоров

Модели тепловизоров	Температурная чувствительность, мК	Температурный диапазон, °С	Диапазон длины волны, мкм	Точность, °С	Диапазон рабочих температур, °С	Разрешение матрицы детектора, пх	Стоимость, тыс.руб
RGK							
TL-60	≤150	-10...+400	8-14	±2,0	0...+50	80x60	43,99
TL-160+	≤50	-20...+650	8-14	±2,0	-15...+50	160x120	154,99
TL-400	≤80	-20...+650	8-14	±2,0	-15...+50	384×288	329,99
Flir							
FLIR C2	≤100	-10...+150	7,5-14	±2,0	-10...+50	80x60	55,40
FLIR E4	≤150	-20...+250	7,5-13	±2,0	-15...+50	80x60	169,99
FLIR E8-XT	≤50	-20...+550	7,5-13	±2,0	-15...+50	320x240	499,99
Fluke							
PTI120	≤60	-20...+150	8-14	±2,0	-10...+50	120x90	145,00
TIS20+	≤60	-20...+150	8-14	±2,0	-10...+50	120x90	427,34
TIS60+	≤45	-20...+400	7,5-14	±2,0	-10...+50	320x240	1058,99
Testo							
865	≤120	-20...+280	7,5-14	±2,0	-15...+50	160x120	178,36
871	≤90	-30...+650	7,5-14	±2,0	-15...+50	240x180	475,94
883	≤40	-30...+650	7,5-14	±2,0	-15...+50	320x240	917,99

Согласно СанПиН 2.1.3684-21 температура горячей воды в местах водоразбора централизованной системы горячего водоснабжения не должна превышать +75 °С. В СНиП 41-01-2003 указана максимальная температура теплоносителя для системы отопления, которая равна 150 °С. В наружных тепловых сетях транспортируется горячая вода с температурой до 200°С и водяной пар с температурой до 440°С, поэтому, выбирая тепловизор, необходимо учитывать его диапазон температурных измерений.

Для измерения большинства объектов применяются приборы с диапазоном длины волны 7–14 мкм, в данном спектральном диапазоне верхняя атмосфера Земли непрозрачна для солнечного излучения, что позволяет осуществлять съемку при наличии солнечной засветки, но также в некоторых случаях необходимы устройства со спектральной чувствительности 1–2 мкм, например, для измерения высоких температур поверхности нагретых и расплавленных металлов [6].

Приборы, имеющие температурную чувствительность (NETD) меньше 80 мК, то есть выявляющий разницу в 0,08 °С и меньше, являются профессиональными, так как получают более качественные снимки. Такие приборы относятся к средней и высокой ценовой категории. Диапазоны температурных измерений и рабочих температур, разрешение матрицы детектора также зависит от стоимости прибора.

Размер матрицы влияет на качество термограммы, поэтому для получения более четкого изображения выбирается разрешение 160x120 (19200 температурных значений) и выше. Кроме того тепловизоры имеют разное функциональное оснащение: вывод инфракрасного изображения в полноэкранном формате или его накладывание поверх реального фото объекта; автофокусировка; автоматическое определение минимальных, максимальных значений температур, лазерная наводка; измерение влажности; создание видеозаписи; связь с другими устройствами по Bluetooth и Wi-Fi.

#### *Вывод*

Таким образом, при выборе тепловизионного оборудования необходимо руководствоваться характеристиками самого обследуемого объекта, особенностями микроклимата и климатическими условиями, а также учитываются требования к качеству получаемых изображений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Карпов Д.Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №4. С. 39–44.
2. Рейно В. В. Применение термографии для энергетического обследования зданий и сооружений / В.В. Рейно, М.В. Шерстобитов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 4(25). – С. 120–131.
3. Дроздов В. А. Термография в строительстве / В. А. Дроздов, В. И. Сухарев. – М. : Стройиздат, 1987. – 240 с.: ил.
4. Способ численной обработки контрастных термоизображений для идентификации дефектов / Н.И. Базалеев, Б.Б. Бандурян, В.Ф. Клепиков [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 1, № 10(49). – С. 15–20.
5. Турдалиева М. К. Экспериментальные исследования теплотехнически неоднородных наружных стен многоэтажного жилого дома // Academic research in educational sciences. 2021. №1.
6. Гусев Г.В. О выборе оборудования для бесконтактного измерения температуры // Научно-технический центр «Эксперт»: неразрушающий контроль. URL: <https://www.ntcexpert.ru/documents/teplovizory/o-vibore-oborudovaniya-dlya-beskontaktnogo-izmereniya-temperaturi.pdf> (дата обращения: 6.03.2024).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
С УЧЁТОМ СУЩЕСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ  
ОТНОСИТЕЛЬНО СВОБОДНОГО НАПОРА У ДИКТУЮЩЕГО ПРИБОРА

В настоящее время инженерные системы играют важную роль в обеспечении функционирования зданий и сооружений. Важной составной частью таких систем является внутренний водопровод, включающий в себя трубопроводы, санитарно-технические приборы и устройства подачи, регулирования давления, расхода и очистки воды.

Создание и поддержание требуемого напора воды является одной из основных задач при проектировании систем водоснабжения, определение величины которого осуществляется по существующим нормативным документам.

*Целью работы* является сравнение требований в существующих в настоящее время нормативных документах, регламентирующих величину свободного напора перед диктующим санитарно-техническим прибором [2] и выявление возможных негативных последствий от применения нововведённых нормативов, регламентирующих выбор величины свободного напора.

До 2016 г. величина свободного напора перед диктующим санитарно-техническим прибором выбиралась с учётом обязательных к применению рекомендаций, приведённых в таблице А.1 [3]. Например, величина свободного напора должна составлять от 2 м (для умывальников и моек) до 5 м (для медицинских ванн и душей).

При этом, в большинстве случаев для нормальной работы внутреннего водопровода было достаточно напора, обеспечиваемого наружным водопроводом. Однако, принятый в 2016 году нормативный документ [4] уже не содержал обязательную к применению величину свободного напора перед санитарно-техническим прибором, а рекомендовал брать значение свободного напора в соответствии с паспортными данными на этот прибор. Максимальное значение свободного напора составляло 5 м, а в некоторых случаях не менее 10 м.

Приведённый в [7] подробный анализ изменений нормативной базы [4, 8] констатировал возникновение противоречий и трудностей, связанных с её применением при проектировании систем водоснабжения.

Имеются публикации о недостатке более точной информации по свободным напорам, в частности прописывании правил по использованию [2] или паспортов арматуры, необходимости коррекции терминов для предотвращения возникновения недопонимания и неточностей при использовании паспортов арматуры, а также о возникновении лишних затрат на обслуживание и эксплуатацию систем водоснабжения и как следствие, ухудшение ситуации с энергосбережением.

В связи с выходом в 2020 г. нормативного документа [5], содержащего п.8.21, свободный напор перед диктующим санитарно-техническим прибором следует принимать не менее 20 м водного столба (0,2 МПа).

Такая рекомендация ещё более усугубляет ситуацию при расчёте требуемого напора для системы водоснабжения здания. В этом случае установка повысительных насосов становится неизбежной даже в малоэтажных зданиях.

Это ведёт к необходимости выполнения ряда требований при проектировании системы водоснабжения:

1. Необходимость установки минимум двух насосов, рабочего и резервного.
2. Необходимость выделения соответствующего помещения для установки повысительных насосов с учётом нормативных акустических требований, предъявляемых к зданиям и сооружениям различного назначения.
3. Подвод соответствующих электрических сетей и установку устройств автоматического управления работой насосов.
4. Необходимость обслуживания насосов.

В качестве примера такого случая можно привести результаты пересчета системы водоснабжения шестиэтажного жилого здания. В нем с учетом новых норм [5] требуемый напор возрос с 29,4 до 50,24 м. При заданном по условию гарантийном напоре 34 м появилась необходимость установки повысительной установки. В данном случае была подобрана установка, обеспечивающая напор 19,49 м и имеющая номинальную мощность 0,55 кВт при напряжении 3×380 В и токе 1,4 А. Максимальный уровень шума при такой насосной установке составляет 61 дБа.

Выполнение подобных требований ведёт к существенному увеличению затрат при проектировании, монтаже и эксплуатации системы водоснабжения. Как следствие, возрастает потребление электроэнергии и снижается надёжность и бесперебойность работы системы водоснабжения при сбоях в подаче электропитания здания.

Подобная ситуация требует применения систем резервного электроснабжения, что ведёт к дальнейшему удорожанию системы водоснабжения и снижению надёжности её работы, а также к выделению дополнительного помещения и соблюдению упомянутых ранее нормативных акустических требований.

В то же время, в соответствии с [1] актуальная редакция свода правил включена в добровольный перечень, что при ссылке на [6] и дополнительных расчетах не может оцениваться как несоблюдение требований технических регламентов. Однако, такое решение вопроса с необходимостью предусматривать насосную установку даже в малоэтажных зданиях не окончательно, так как оно может быть не одобрено на этапе экспертизы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. О внесении изменений в приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 апреля 2020 г. №687. Приказ Росстандарта от 20.04.2021 №567.
2. ГОСТ 19681-2016. Арматура санитарно-техническая водоразборная. Общие технические условия.
3. СНиП 2.04.01-85. Строительные нормы и правила. Внутренний водопровод и канализация зданий и сооружений.
4. СП 30.13330.2016. Свод правил. Внутренний водопровод и канализация зданий.
5. СП 30.13330.2020. Свод правил. Внутренний водопровод и канализация зданий.
6. О техническом регулировании. Федеральный закон от 27.02.2002 №184-ФЗ.
7. Воронова В. И. Свободный напор водоразборной арматуры, или «Предъявите паспорт» / В.И. Воронова. – Текст: электронный // Научно-технический журнал. Инженерные системы. – Режим доступа: <https://isguru.ru/stati/vodosnabzhenie-i-vodootvedenie/6772-svobodnyj-napor-vodorazbornoj-armat/>.
8. Шарипов А.Я. Методика по определению расчетных расходов воды и стоков в системе водоснабжения и канализации зданий и сооружений: методическое пособие / А.Я. Шарипов, А.С. Богаченкова, Н.А. Александрович, А.А. Варламов, И.Д. Монастыренко – М.: ООО «СанТехПроект», 2017. – 117 с.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ  
НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХОВОДА

*Целью работы* является исследование влияния формы поперечного сечения на гидравлические характеристики воздуховода и целесообразности применения воздухопроводов некруглого сечения.

Размер воздуховода – это один из ключевых параметров при проектировании системы вентиляции, от которого зависит количество поступающего в помещение воздуха. Также воздуховод должен вписываться в габариты помещения, исходя из эстетических соображений. Проектируя системы вентиляции жилых и промышленных помещений, чаще всего используют воздухопроводы прямоугольного и круглого сечения. Реже, при необходимости, можно применять изделия с эллиптическим сечением.

Посредством таких систем организуются как самостоятельные вентиляционные решения, так и прокладываются различные ответвления, в которых необходимо предусмотреть смену сечений.

В сооружениях производственного назначения, как правило, используются воздухопроводы круглого поперечного сечения. Но круглые воздухопроводы могут применяться не всегда. Причиной тому являются, прежде всего, архитектурно-эстетические соображения. Прямоугольная форма воздухопроводов в большей степени, чем круглая, позволяет размещать их в помещениях, не нарушая архитектурного облика последних. Второе обстоятельство, которое заставляет переходить на прямоугольные воздухопроводы, ограниченная высота помещений. Так, если высота помещения составляет 2,4 м, то обычно нельзя применять круглые воздухопроводы с диаметром поперечного сечения более 0,5 м, так как это затруднит проход людей. В этом случае необходимо переходить на прямоугольные воздухопроводы, равновеликие или близкие по площади поперечного сечения круглым [1].

При решении ряда задач необходимым условием является установление режима движения движущейся субстанции, который при заданной геометрии зависит от скорости потока. Слоистое течение без перемешивания частиц жидкости или газа и без пульсации скорости и давления называется ламинарным. Течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидких частиц с пульсациями скоростей и давлений, называется турбулентным [2].

Для численной оценки скоростей воспользуемся приведенными в литературных источниках решениями [3], справедливыми для ламинарного потока. Рассмотрим распределение скоростей по сечению воздуховода для отдельных форм поперечных сечений трубопроводов и определим средние по сечению скорости при следующих фиксированных параметрах:

- площадь живого сечения  $\omega = 0,0177 \text{ м}^2$ ;
- перепад давления  $\Delta p = 50 \text{ Па}$ ;
- перемещаемая среда: воздух;
- длина трубопровода  $l = 55 \text{ м}$ ;
- коэффициент динамической вязкости  $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при температуре  $20^\circ\text{C}$  [4].

Исходя из геометрических соображений при условии равенства сечений, найдем характерные линейные размеры сечений:

- для круглого сечения  $a = 0,15 \text{ м}$ ;
- для квадратного сечения  $a = 0,13 \text{ м}$ ;
- для треугольного сечения  $a = 0,20 \text{ м}$ .

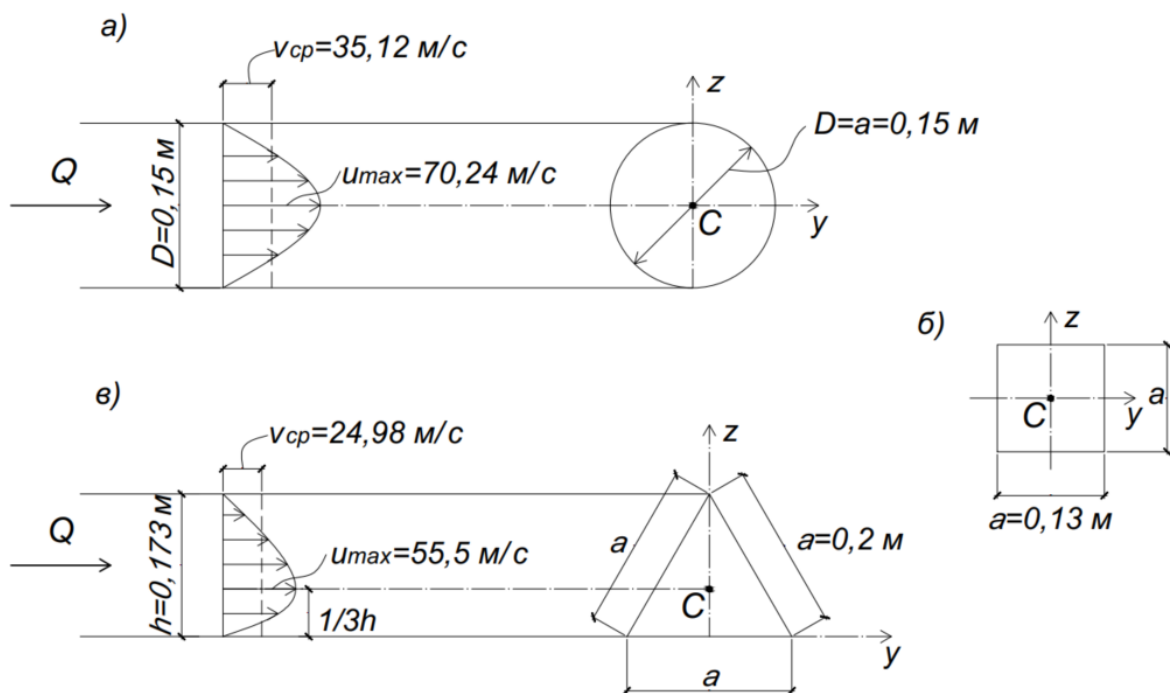


Рис. 1. Распределение скоростей по сечениям круглого и треугольного очертания

Перейдем далее непосредственно к расчету скоростей.

– Круглое поперечное сечение:

Распределение местных скоростей по живому сечению соответствует зависимости:

$$u = \frac{\Delta p}{4\eta l} (a^2 - r^2), \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от оси трубы [5].

Для средней по сечению скорости справедливо:

$$v_{cp} = \frac{\Delta p}{8\eta l} \left(\frac{a}{2}\right)^2. \quad (2)$$

Тогда, подставляя исходные данные в формулу (2), найдем:

$$v_{cp} = \frac{50}{8 \cdot 1,82 \cdot 10^{-5} \cdot 55} \cdot \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 = 35,12 \text{ м/с.}$$

Для сравнения произведем аналогичные вычисления для квадратного и треугольного сечений.

– Квадратное поперечное сечение:

$$v_{cp} = 0,141 \frac{\Delta p}{\eta l} \left(\frac{a}{2}\right)^2, \quad (3)$$

$$v_{cp} = 0,141 \cdot \frac{50}{1,82 \cdot 10^{-5} \cdot 55} \cdot \left(\frac{0,13}{2}\right)^2 = 29,76 \text{ м/с.}$$

– Треугольное поперечное сечение:

$$v_{cp} = \frac{\Delta p}{80\eta l} a^2, \quad (4)$$

$$v_{cp} = \frac{50}{80 \cdot 1,82 \cdot 10^{-5} \cdot 55} \cdot 0,2^2 = 24,98 \text{ м/с.}$$

Распределение местных скоростей по живому сечению определяется по формуле:

$$u = \frac{\Delta p}{2\sqrt{3}\eta a l} (z^3 - \sqrt{3}az^2 - 3zy^2 + \frac{3}{4}a^2z), \quad (5)$$

где  $u$  и  $z$  продольная и вертикальная координаты соответственно.

Результаты расчетов представлены на рис. 1.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что средняя скорость для прямоугольного сечения примерно на 15 % меньше средней скорости для круглого сечения той же площади, а для треугольного по сравнению с круглым – меньше примерно на 29%. Следовательно, круглое сечение с гидравлической точки зрения выгоднее других профилей. Как следствие, это означает и экономическую целесообразность использования круглых сечений по сравнению с равновеликими по площади аналогами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Стефанов Е.В. Вентиляция кондиционирование воздуха. СПб.: Авок Северо-Запад, 2005. 399 с.
2. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 538 с.
3. Кульмач П.П., Аверьянов В.К., Хатковский Е.М. Прикладная специальная гидроаэромеханика. М.: Воениздат, 1989. 480 с.
4. Кожевникова Е.Н., Лаксберг А.И., Локтионова Е.А. Механика жидкости и газа (гидравлика): краткий справочник. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003.
5. Аржаников Н.С., Мальцев В.Н. Аэродинамика. 2-е изд. Репринтное воспроизведение издания 1962. – М., Эколит, 2011. 488 с.

УДК 532.595.2

С.Я. Свиридова, А.А. Гиргидов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FloMASTER И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Системы водоснабжения имеют важнейшее значение для обеспечения технологических процессов промышленных объектов. Работоспособность системы может быть нарушена при возникновении нестационарных (переходных) гидравлических процессов – гидравлического удара.

Гидравлическим ударом (ГУ) называется внезапное повышение или понижение давления жидкости внутри напорного трубопровода, вызванное любым резким изменением скорости её течения [1, 2]. Его подразделяют на положительный гидравлический удар, то есть вызванный повышением давления, и отрицательный гидравлический удар – вызванный понижением давления. ГУ способен не только нарушить работу трубопроводной системы, но и привести к катастрофическому ущербу, если речь идет об объектах ядерной энергетики. Для исключения возникновения данного явления следует не только определить параметры гидравлического удара, но и правильно расположить устройства для снижения последствий от возможного ГУ.

В настоящее время параметры нестационарных гидравлических процессов определяются с помощью численного моделирования в специализированных расчётных комплексах (ПО). Это стало возможно благодаря возможности программирования дифференциальных уравнений гидравлического удара [1] для систем любой сложности. Тем не менее, практически все программные средства, демонстрирующие возможности моделирования переходных процессов, не предоставляют верификации, валидации или апробации задач, связанных с моделированием данных явлений, что связано со значительной сложностью физического или натурального эксперимента.

Одним из программных комплексов по расчёту ГУ с представленной верификацией является FloMASTER от разработчика Mentor Graphics (Siemens) [3].

Целью работы является оценка точности расчета параметров гидравлического удара программным комплексом FloMASTER, сравнив результаты расчета с аналитическим решением [1], т.е. проведение верификационного расчёта, который позволит утверждать, что используемый программный комплекс позволяет провести расчеты переходных процессов в системе любой сложности. Необходимо отметить, что вместе с ПО FloMASTER поставляются валидационные отчеты, в которых параметры расчетов в программном комплексе практически совпадают с данными

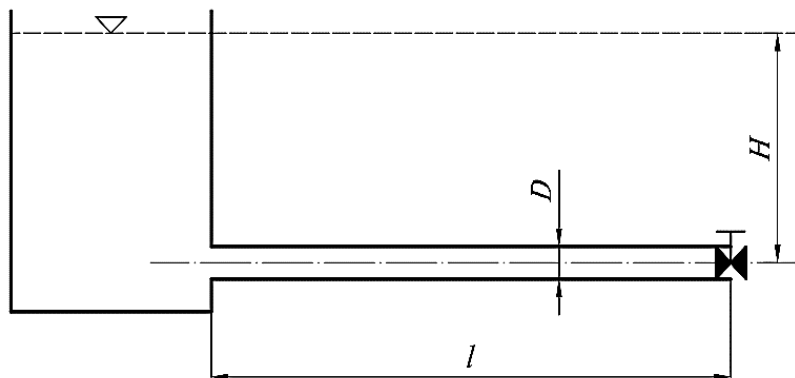


Рис. 1. Модель для верификационных расчетов в ПО FloMASTER

нескольких экспериментальных задач, что уже позволяет говорить о достаточной достоверности результатов моделирования, тем не менее, оценить достоверность полученных из программного расчета результирующих данных на аналитическом решении также представляется необходимым.

Для верификационного расчёта была выбрана модель,

представленная в [1] (рис. 1). Исходные данные для рассматриваемой задачи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Напор над центром тяжести выходного сечения трубопровода, м	5
Давление на выходе из трубопровода, Па	101325
Длина трубопровода от резервуара до задвижки, $l$ , м	100
Диаметр трубопровода, $D$ , мм	200
Толщина стенок трубопровода, $\delta$ , мм	4
Абсолютная эквивалентная шероховатость трубопровода, $\Delta$ , м	0,0002
Материал трубопровода	Сталь Ст3пс
Модуль упругости материала трубопровода, $E_p$ , Па	$189 \cdot 10^9$
Коэффициент гидравлического сопротивления задвижки до закрытия (при полностью открытой), $\zeta$	0,15
Время закрытия задвижки, $\Delta t_z$ , с	9
Рабочая жидкость	Вода
Плотность воды, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1000
Модуль упругости воды, $E_f$ , Па	$2030 \cdot 10^6$

При моделировании рассматривались два расчетных случая. Первый представлял собой задачу оценки гидравлического удара в стальном трубопроводе с деформируемыми стенками. При использовании формулы для определения волновой скорости [1] и подстановке в неё данных из таблицы 1, значение составляет:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_f}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D E_f}{\delta E_p}}} = \frac{\sqrt{\frac{2030 \cdot 10^6}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{0,2 \cdot 2030 \cdot 10^6}{0,002 \cdot 189 \cdot 10^9}}} = 989 \text{ м/с.}$$



Второй расчётный случай – принимается, что стенки трубопровода абсолютно жёсткие (т.е.  $E_p = \infty$ ), тогда значение волновой скорости составит:

$$a = \sqrt{\frac{E_f}{\rho}} = \sqrt{\frac{2030 \cdot 10^6}{1000}} = 1425 \text{ м/с},$$

что близко к скорости распространения звука в воде при нормальных условиях [5].

Таким образом, значение давления гидравлического удара получится равным [1]:

- для первого расчётного случая:  $(p_{WH})_{base} = \rho a v_0 = 1000 \cdot 989 \cdot 4,39 = 4,342 \text{ МПа}$ ;
- для второго случая:  $(p_{WH})_{add} = \rho a v_0 = 1000 \cdot 1425 \cdot 4,39 = 6,26 \text{ МПа}$ .

Расчётная модель в ПО FloMASTER была построена из соответствующих элементов (рис. 2): резервуар 4, трубопровод 5, задвижки в начале 8 и конце 7 трубопровода. Задано давление на выходной границе 6.

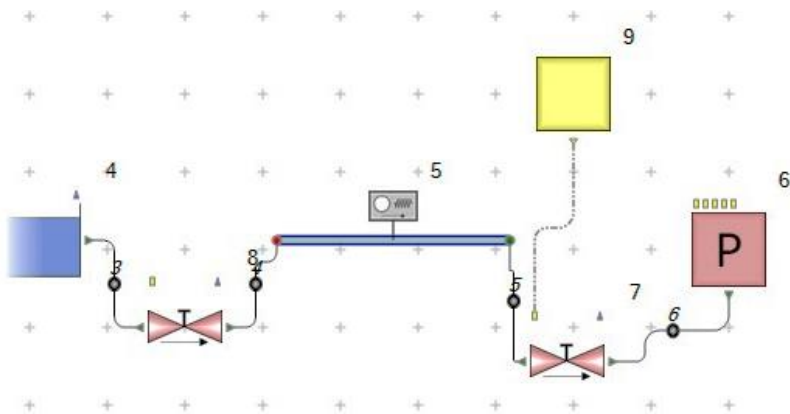


Рис. 2. Расчётная схема трубопровода в ПО FloMASTER

Задвижка на входе в трубопровод принималась всегда открытой и в расчётах не участвовала.

Особенностью задания начальных и граничных условий для давления является то, что в модели следует использовать значения абсолютного давления, так как при значениях вакуума избыточное давление становится меньше нуля, что вызывает критическую ошибку в программе и приводит к остановке расчётов.

В результате расчётов было получено максимальное значение давления для первого и второго расчётного случаев:

- для первого расчётного случая:  $(p_{WH}^{FM})_{base} = 4,343 \text{ МПа}$ ;
- для второго расчётного случая:  $(p_{WH}^{FM})_{add} = 6,39 \text{ МПа}$ .

Погрешность моделирования составила:

- для первого случая – 0,02%;
- для второго случая – 2,03%.

На основании результатов расчётов и сопоставления их с данными моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Модель, заложенная в ПО FloMASTER, имеет достаточную достоверность и может быть использована для моделирования переходных процессов в трубопроводах.

2. Полученная величина максимального давления гидравлического удара соответствует теоретической. Погрешность моделирования не превышает 1% для первого случая и 3% для второго. Более высокая точность моделирования первого расчетного случая может быть объяснена простотой расчетной системы.

3. Моделирование позволяет указать на места с максимальным значением давления и, соответственно, места для установки компенсационного оборудования (например, клапаны впуска-защемления воздуха).

4. Использование ПО FloMASTER для расчётов параметров возможного ГУ в системе является обоснованным, так как позволяет учесть все возможные особенности трубопроводных систем, которые невозможно учесть при ручном расчёте.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник для студентов высших учебных заведений – 3-е изд., испр. и доп., СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2007, 546 с.
2. Татура Е.А., Гоголев С.А. Гидравлический удар в напорных водоводах и защита от него: Методическое пособие. – Ижевск: 2007. – 66 с.
3. Mentor Graphics. Flowmaster V7 Validation Examples, FM7.9.4 // Mentor Graphics. 2015.
4. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение (Методы анализа, лабораторные работы и задачи). – Москва: Металлургия, 1975.
5. Физические величины: Справочник. ред. Григорьев И.С., Мейлихов Е.З. Изд-во: М.: Энергоатомиздат. 1991 г. 1232 с.

УДК 536.242

У.А. Шацкая, М.И. Куколев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ РАСЧЕТОВ

*Актуальность* проблемы моделирования трехмерной структуры пористых сред обусловлена тем, что термодинамические и гидродинамические расчеты для них существенно зависят от характерных геометрических показателей. Особый интерес представляет моделирование протекания потока жидкости (газа) через пористую среду в специальных программных комплексах.

Можно разделить исследование гидродинамики и теплопередачи в пористых структурах на подуровни, которые обусловлены делением на следующие масштабы исследований: масштаб области, масштаб репрезентативного элементарного объема и масштаб пор. Размер репрезентативного элементарного объема существенно меньше размера области, но намного больше размера пор [1].

В виду высокой сложности экспериментальных исследований пористых сред, создание их цифровых моделей представляет особую ценность для исследований процессов, происходящих в масштабе пор [2].

*Целью работы* является изучение взаимосвязей гидродинамических и тепловых характеристик и определяющих параметров пористой структуры. Для достижения поставленной цели были изучены работы, посвященные исследованию зависимостей результатов гидродинамических и тепловых расчетов от параметров расчетной модели.

Одним из главных вопросов исследования [3] являлось определение наиболее реалистичного отображения пористой структуры: при помощи модели пористой структуры с применением автоматического сглаживания; модели со сглаживанием, проведенным вручную; а также модели без сглаживания (рис. 1). Отслеживаемым параметром являлся расчётный перепад давления протекающей сквозь пористую среду жидкости, значение которого сравнивалось с экспериментальными данными других авторов. Установлено, что влияние таких параметров, как диаметр ячейки, пористость, диаметр связывающих волокон неравноценно влияют на гидродинамический расчет пористой среды.

При расчете модели с автоматическим сглаживанием было получено наибольшее значение перепада давления на единицу длины пористого элемента. Это показало, что форма и размеры волокон модели пористой среды оказывают большее влияние на сопротивление среды, нежели диаметр самих ячеек и пористость.

В работе [4] определялась эффективная длина пористого элемента и её влияние на процессы теплообмена. Были рассмотрены образцы высокопористых материалов разной длины.

При условии разницы температур воздуха и поверхности пористой структуры в 100 градусов максимальная температура воздуха на выходе из пористой структуры достигалась при толщине образца 8 см. Относительная однородность температурного поля устанавливается при длине пористой структуры 7 см. Таким образом, эффективной длиной можно обозначить 7 см, при 8 см же фиксируется максимальное значение температуры, после чего увеличение длины пористого материала не оказывает влияния на прирост теплового потока (рис. 2).

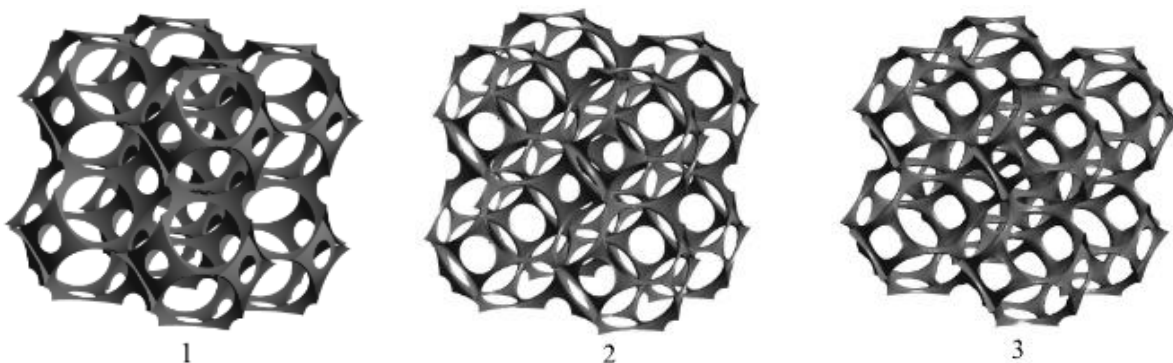


Рис. 1. Модели пористой структуры: 1 – с применением автоматического сглаживания; 2 – со сглаживанием, проведенным вручную; 3 – без сглаживания [3]

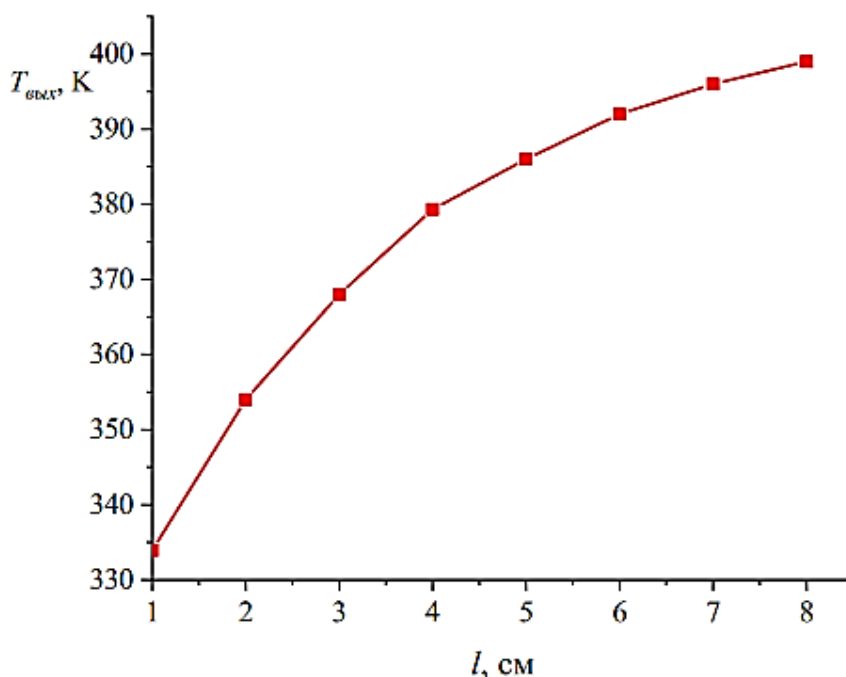


Рис. 2. Зависимость температуры жидкости на выходе из расчетной области от длины пористого материала [4]

В работе [5] было рассмотрено влияние волокнистой структуры пористого материала на значение теплового потока и показатели энергетической эффективности полимерных полуволоконных теплообменников (подразумевается отношение энергии теплового потока с поверхности волокнистого материала к мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителя). Рассматривались образцы различной пористости:  $\varepsilon = 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95$  в условиях разных скоростей потока воздуха: 0,01; 0,05; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 м/с. Граничными условиями выступали температуры 293 °K на входе в расчетную область и 373 °K на поверхности волокнистого материала.

В ходе исследования была определена зависимость показателя энергоэффективности при использовании волокнистых материалов различных пористостей (рис. 3).

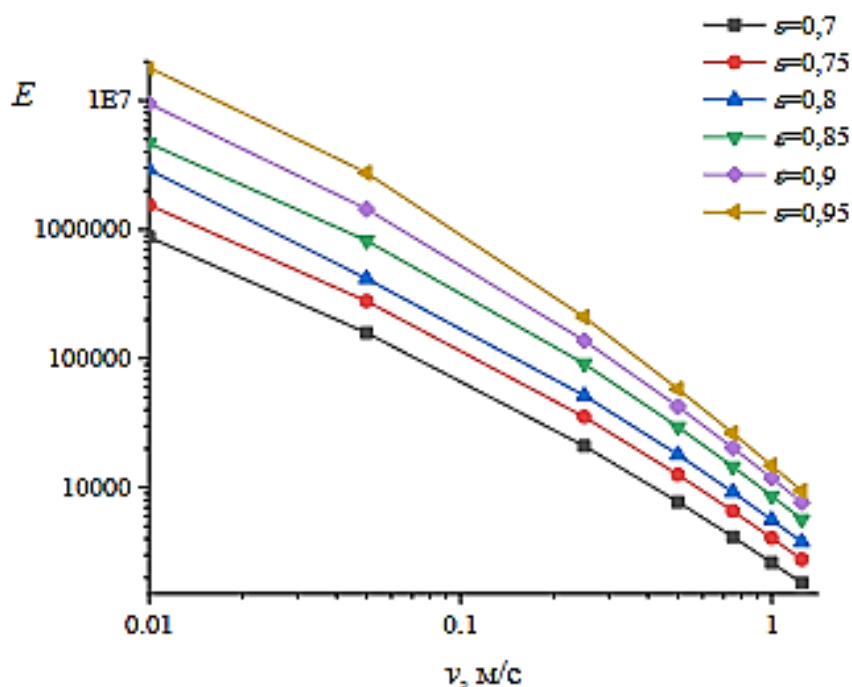


Рис. 3. Зависимость показателя энергоэффективности при использовании волокнистых материалов различных пористостей [5]

Волокнистому материалу с пористостью  $\epsilon = 0,95$ , по результатам исследования, соответствует наибольшее значение показателя энергоэффективности, а наименьшее – волокнистому материалу с пористостью  $\epsilon = 0,7$ .

В результате установлена дальнейшая необходимость усовершенствования методов построения расчетных моделей пористых структур ввиду значительной зависимости результатов гидравлических и тепловых расчетов от заданных параметров пористой среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Guo Z, Shu C. Lattice. Boltzmann method and its applications in engineering // World Scientific, 2013. V. 3. 420 p.
2. Tzou Dy. Macroto. Micro scale Heat Transfer: // The Lagging Behavior, Taylor & Francis, Washington, DC, 1997. 576 p.
3. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Попкова О.С. Моделирование трехмерной структуры высокопористых ячеистых материалов и анализ качества модели на примере расчета перепада давления // Ученые записки Казанского университета. Серия физико-математические науки, 2018, Т. 160, кн. 4 с. 681–694.
4. Соловьева О.В., Яфизов Р.Р., Соловьев С.А. Определение эффективной длины пористой структуры при конвективном теплообмене // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2020, с. 113–122.
5. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Талипова А.Р. и др. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2022. Т. 14. № 1(53). с. 56–64.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРОВ ХОЛОДА В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ  
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ

Наблюдается рост объемов строительства центров обработки данных из-за высоких вычислительных требований со стороны искусственного интеллекта (ИИ) и мультимедийных приложений. Кроме того, рост, вероятно, будет подпитываться внедрением периферийных вычислений и увеличением количества устройств IoT [1].

Организация ЦОДа требует постоянного мониторинга инженерной инфраструктуры. Работа инженерных систем (систем обеспечения микроклимата) центров обработки данных, является важной частью при проектировании серверных, обеспечивающая бесперебойную работу вычислительной техники, а также поддерживающая ее в работоспособном состоянии с максимальной эффективностью, для исключения простоя ЦОД [2].

Основной процент избытков теплоты центров обработки данных составляет ИТ-оборудование, которое равно примерно 70 % от всего выделяемого тепла ЦОД, а также инженерные системы. Система охлаждения ЦОД является одной из самых энергозатратных составляющих ЦОД, потребляя до 50% всего объема электроэнергии, необходимой для его работы.

Выбор типа системы охлаждения дата-центра существенно влияет на конфигурацию всех смежных инженерных систем, а в конечном итоге определяет такой важный показатель, как полная стоимость владения (ТСО). В то же время рационально спроектированная система охлаждения ЦОД позволяет сократить эксплуатационные затраты более чем на 10%.

Энергоэффективность один из ключевых параметров системы охлаждения наряду с ее холодопроизводительностью. Однако именно на нее, как правило, не обращают должного внимания проектировщики, особенно учитывая тот факт, что данная система потребляет от 1/3 до 1/2 всей электроэнергии в ЦОДе. В результате вопрос организации охлаждения с целью повышения энергоэффективности является одной из главных областей, требующих рассмотрения.

Структурная схема холодоснабжения систем кондиционирования и вентиляции, так же, как и теплоснабжения, как правило, может быть представлена в виде трех основных элементов: генератора – источника холода; холодопроводов, передающих холод от генератора к потребителю; потребителя – стока холода.

Для охлаждения ЦОДов используют вариации различного оборудования. Большую популярность завоевало использование в системе охлаждения использование прецизионных кондиционеров.

Повышение энергоэффективности работы систем кондиционирования открывает применение аккумуляторов холода. Инженерные системы с аккумулятором холода в дата-центрах являются более сложными, имеют собственные конструктивные особенности, что необходимо учитывать при проектировании.

За рубежом известно, что использование аккумуляторов холода в системах кондиционирования имеет преимущество перед другими системами. Техническое решение с накопителями холода в международной практике нашло применение в аэропортах, банках, больницах, пищевой промышленности и других областях. Однако данные технологии почти не применяются в России, т.к. считается, что их работа оправдывается, только начиная с высоких величин холодопроизводительности.

Способы аккумуляции холода:

- теплообменник в аккумулирующей емкости;
- капсулы с аккумулирующим материалом.

Первый тип устройства для аккумуляции холода представляет собой емкость с трубчатым теплообменником внутри. Теплообменник состоит из однотипных элементов, которые соединяются и устанавливаются в емкости друг над другом на определенном расстоянии (рис. 1)



Рис. 1. Теплообменник в аккумулирующей емкости [3]

Второй тип устройства для аккумуляции холода представляет собой теплоизолированный бак. Внутри него находятся капсулы с фазопереходным аккумулирующим материалом. Они могут иметь пластинчатую, цилиндрическую или сферическую форму (рис. 2).

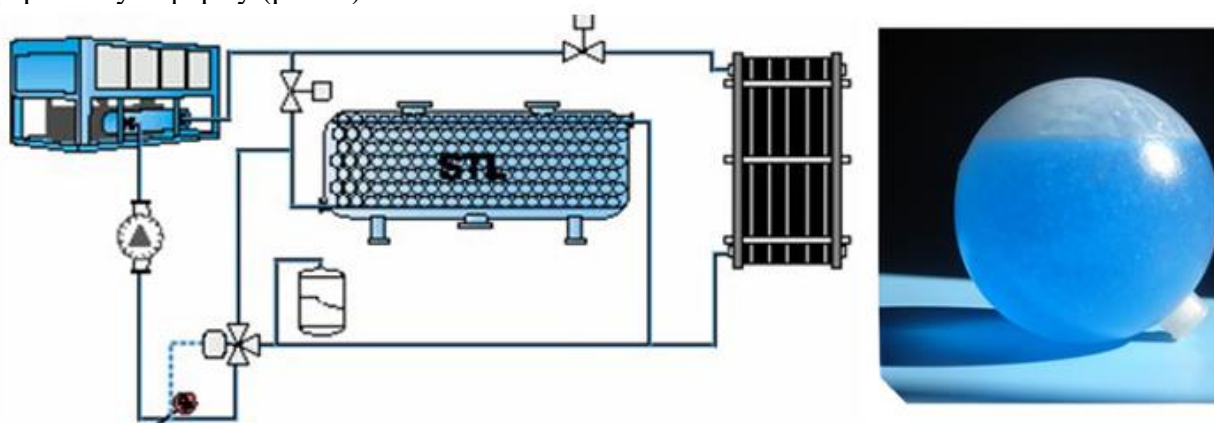


Рис. 2. Капсулы-заполнители сферической формы [4]

Принцип работы аккумулятора холода заключается в следующем: емкость аккумулятора заполняется водой, по трубкам теплообменника циркулирует с отрицательной (по шкале Цельсия) температурой фреон или раствор этиленгликоля. В итоге поверхность труб теплообменника покрывается льдом. Толщина льда контролируется локальными датчиками. При этом происходит заряд аккумулятора.

Включается аккумулятор холода. Происходит его разряд. Накопленный на этапе заряда лед тает и охлаждает помещение. В результате снижается нагрузка на водоохлаждающую машину (чиллер).

Целесообразность применения аккумуляторов холода заключается в правильном подборе и расположении оборудования на этапе проектирования, что позволяет повысить эффективность работы системы. Так же при правильном проектировании аккумулятора холода происходит сокращение нагрузки на работу холодильной машины. Экономически целесообразно проводить «зарядку» в ночное время суток, когда стоимость электроэнергии имеет самую низкую цену.

В статьях [5, 6] рассмотрен пример использования в офисном здании схем с тремя различными по емкости аккумуляторами холода. Для наглядности, представлены графики распределения холодильной нагрузки для трех вариантов в течение суток и приведено сравнение экономических показателей систем (традиционной и с накопителем холода) с учетом их годовой работы. Способ использования традиционной системы уступает схеме с накопителем холода. Остальные три варианта являются более выгодными и зависят от особенностей режима работы объекта и количества тепловыделений. Оценены экономические аспекты подобных систем.

Использование аккумуляторов холода [7] в современных системах кондиционирования приводит к уменьшению мощности холодильной установки, вследствие чего происходит минимизация эксплуатационных затрат.

Для проектирования подобных систем возможно применение расчетных моделей тепловых накопителей энергии, предложенных в [8].

Следует отметить, что любые предлагаемые модификации охладительной системы или возможность оснащения ее новым оборудованием, необходимо рассматривать в контексте общих эксплуатационных потребностей и целей системы.

Таким образом, можно сделать *вывод* о том, что применение аккумуляторов холода позволило бы вывести эффективность работы систем кондиционирования на новый уровень и использование аккумуляторов холода в системах кондиционирования воздуха позволяет снизить потребление электроэнергии и эксплуатационные затраты.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Анализ размера и доли европейского рынка охлаждения центров обработки данных // <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/europe-data-center-cooling-market-industry> (дата обращения 18.03.2024)
2. Бородко А.В. Классификация центров обработки данных // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 1. С. 1–9. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-1-1-9 Охлаждение серверов // <https://telecombloger.ru/171596>
3. Установки ледяной воды [Электронный ресурс]: [сайт]. – Санкт-Петербург, 2019. – <https://balttech.ru> (дата обращения 18.03.2024).
4. Thermal Energy Storage System [Электронный ресурс]: [сайт]. – Kolkata, 2019. – <http://www.calcuttayellowpages.com> (дата обращения 18.03.2024).
5. Наумов А. Л., Селиверстов Ю. М., Ефремов В. В., Протасов Г. В. Системы кондиционирования воздуха с аккумулятором холода // АВОК. – 2012. – № 3 – С.1–3.
6. Селиверстов Ю. М., Ефремов В. В. Экономика систем кондиционирования воздуха с аккумулятором холода // АВОК. – 2013. – № 1 – С.1–3.
7. Аккумуляторы холода [Электронный ресурс]: [сайт]. – М., 2019. – Режим доступа: <https://www.promventholod.ru> (дата обращения 18.03.2024).
8. Куколев М.И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – С. 204.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
НАПЫЛЯЕМОГО УТЕПЛИТЕЛЯ

Для анализа теплофизических свойств материалов, а также для создания моделей зависимости тепловых свойств от температуры, давления необходимы данные об основных тепловых свойствах, связанных с теплопередачей [1]. Подобные данные необходимы также для понимания процесса теплопередачи в жидких и рыхлых материалах. [2]

Теплопередача через материалы обусловлена не только теплопроводностью в гомогенном веществе – она является результатом взаимодействия различных видов теплопереноса [3, 4]. Ввиду сложности механизма теплопередачи практический интерес представляют теплофизические характеристики объекта исследования. Следовательно, возможность использования устройства для одновременного определения коэффициентов температуропроводности и теплопроводности позволяет повысить производительность эксперимента, что также представляет практический интерес [5, 6].

Цель исследования – определение коэффициента теплопроводности 5 видов теплоизоляционных изделий средней толщиной 20 мм в сухом состоянии при средней температуре образца 10<sup>o</sup>C на основании методики ГОСТ 7066-99.

Определение коэффициента теплопроводности 5 образцов напыляемого утеплителя при средней температуре 10<sup>o</sup>C выполнено на основании методики ГОСТ 7076-99 (распространяется на строительные материалы и изделия, а также на материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, и устанавливает метод определения их эффективной теплопроводности и термического сопротивления при средней температуре образца от минус 40 до + 200 °C.). Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии приборов для измерения эффективной теплопроводности ПИТ-2.1 и ИТС-1 соответственно.

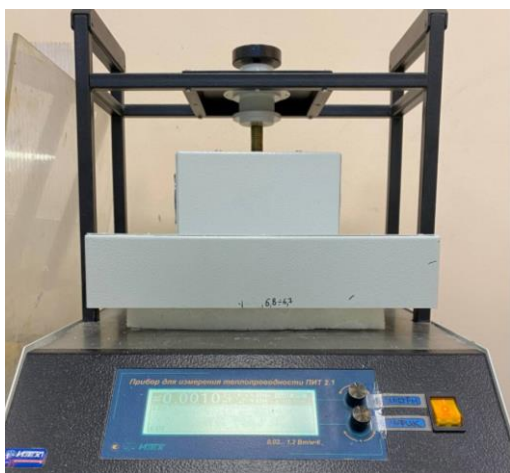


Рис. 1. Прибор для измерения теплопроводности ПИТ-2.1



Рис. 2. Прибор для измерения теплопроводности ИТС-1



По результатам исследования теплопроводность образцов вычислялась как среднее арифметическое значение результатов испытания соответствующих образцов серии.

Результаты испытаний при средней температуре образца 10°C представлены в таблице 1. Результаты распространяются только на испытанные образцы.

Таблица 1 – Экспериментальные значения теплопроводности образцов

№	Сведения об образцах	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_{10}$ , Вт/м·К	Среднее значение коэффициента теплопроводности, $\lambda_{10}$ , Вт/м·К
1	Образец №1	18,20	0,0361	0,0366
2	Образец №2	19,20	0,0367	
3	Образец №3	20,00	0,0364	
4	Образец №4	20,30	0,0371	
5	Образец №5	18,20	0,0365	

По результатам исследования определены коэффициенты теплопроводности изделий в сухом состоянии при средней температуре образца 10°C. Среднее значение коэффициента теплопроводности равно 0,0366 Вт/м·К.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Типы ограждающих конструкций глубоких котлованов в слабых глинистых грунтах / Р.А. Ибрагимов, А.В. Ковредов, Л.В. Талипова, К.С. Папушина // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : материалы V Международной НПК: в 2 частях Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 521–526.
2. Борисова Ю.А. Сравнение российских и европейских норм проектирования офисных зданий / Ю.А. Борисова, Л.В. Талипова // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Часть 2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С. 121–123.
3. Барабанов А.С. Двойные фасады в высотном здании бизнес-центра в климатических условиях Г. Санкт-Петербург / А.С. Барабанов, Л.В. Талипова // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С. 118–121.
4. Полюх А.А. Применение инверсионной кровельной системы в Санкт-Петербурге / А.А. Полюх, Л.В. Талипова // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 222–225.
5. Методология проведения испытаний противопожарных штор на огнестойкость / О.В. Недрышкин, А.В. Черкашин, Д.Е. Шабунина, М.В. Гравит // Стандарты и качество. – 2023. – № 4. – С. 56–59. – DOI 10.35400/0038-9692-2023-4-33-23.
6. Бегич Я.Э. Аморфная фибра из сплава системы Fe-b-c для объемного армирования бетона / Я.Э. Бегич, А.В. Черкашин, П.А. Шерстобитова // Наука и инновации в технических университетах: материалы Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 44–45.

УДК 69:504.05

Ван Юйсян, Л.М. Молодкина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ЖИЛОГО ОБЪЕКТА В ГОРОДЕ ХЭФЭЙ ПО КИТАЙСКОМУ СТАНДАРТУ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА GB/50378-2019

Как известно, строительная отрасль оказывает серьезное негативное воздействие на окружающую среду. Для смягчения этого влияния в большинстве стран мира все большее внимание уделяется зеленому строительству. За последнее десятилетие помимо таких широко известных стандартов зеленого строительства, как LEED (США), BREAM (Великобритания), EnergyStar и GreenStar (Австралия), DGNB (Германия) [1–3], в разных странах, в том числе, в Китае, активно развиваются национальные системы [4].

*Цель работы* заключается в оценке жилого комплекса в городе Хэфэй по Китайскому стандарту зеленого строительства GB/T 50378-2019. В рамках поставленной цели необходимо было: 1) оценить выбранный объект по всем критериям стандарта GB/T 50378-2019, 2) проанализировать итоговую оценку. Ранее подобную оценку мы применили к объекту недвижимости в г. Цзилинь [5].

Анализируемый объект расположен в новом районе Биньху города Хэфэй, Китай. Общая площадь земельного участка составляет 34 523,00 м<sup>2</sup>, общая площадь застройки – 192 092,20 м<sup>2</sup>, включая надземную площадь 16 2248,22 м<sup>2</sup> и подземную площадь 29 844,00 м<sup>2</sup>. Выбранный объект – многофункциональный жилой дом №1. Площадь участка составляет 3 862,64 м<sup>2</sup>, общая площадь строения – 9 5053,93 м<sup>2</sup>, включая 27 этажей над землей и 1 этаж под землей, высота здания – 99,15 м, общая надземная площадь – 88 704,87 м<sup>2</sup>, общая подземная площадь – 6 349,06 м<sup>2</sup>. Общее количество пользователей: 542 домохозяйства, плотность застройки составляет 31,94%, зеленый коэффициент – 25,08%.

Рейтинговая система GB/T 50378-2019 [6] включает следующие категории (разделы): 1) Безопасность и долговечность; 2) Здоровье и комфорт; 3) Удобство проживания; 4) Ресурсосбережение; 5) Комфортность окружающей среды. Оценочный балл каждой категории – 100. Общий балл оценки «зеленого» здания рассчитывают по формуле, в которой суммируют баллы за все категории, за оценку обязательных (предварительных) элементов и бонусы за продвижение и инновации. Затем полученную сумму делят на 10. В соответствии с баллами присваивается 1 звезда (от 60 баллов), 2 звезды (от 70 баллов), 3 звезды (от 85 баллов) [4–6].

В качестве примера в табл. 1 приведена оценка выбранного объекта по первой категории «Безопасность и долговечность».

Согласно проведенной оценке, все предварительные (обязательные) требования к объекту в рамках данной категории были выполнены. Это относится к сейсмической устойчивости здания, к ряду мер безопасности (от воров, от солнца, дождя и проч.), к безопасности стеклянных ограждений и лифтов, к наличию антискользящих напольных покрытий, к безопасности пешеходов (с разделением людей и моторизованных транспортных средств), к оборудованию объекта системой "умного" дома, к качеству труб, кабелей, кранов, и прочего, к использованию высокопрочного бетона, к материалам для наружной отделки.

Оценка выполнения других категорий стандарта показала следующее: категория 2) Здоровье и комфорт – 78 баллов (из 100), 3) Удобство проживания – 52 (из 100), 4) Ресурсосбережение – 93 (из 200); 5) Комфортность окружающей среды – 68 (из 100).

Таблица 1 – Оценка объекта по категории «Безопасность и долговечность»

№	Критерий	Реальная оценка	Максим. балл
1.1	Применение сейсмического проектирования на основе производительности и разумное повышение сейсмостойкости здания	10	10
1.2	Принятие мер по обеспечению безопасности людей: 1. Принятие мер по повышению безопасности балконов, защитных ограждений и прочего; 2. Входы и выходы зданий оснащены противоскользящими устройствами для предотвращения случайного выпадения дверей и окон; 3. Использование ландшафта или дизайна для создания буферных зон, снижающих риск падения предметов.	15	15
1.3	Использование продуктов или аксессуаров с функцией безопасности: 1. Стекла с функцией безопасности; 2. Дверей и окон с защитой от защемления.	10	10
1.4	Принятие мер против скольжения для внутренних и внешних поверхностей пола или дорожного покрытия: 1. Входы в здания, общественные коридоры, туалеты и т.д. оснащены противоскользящими мерами; 2. Для внутренних и внешних активных зон здания используются противоскользящие покрытия; 3. Для склонов, рампы и ступеней лестниц применяются технические меры, такие как противоскользящие ленты.	10	10
1.5	Принятие мер по разделению пешеходного и автомобильного движения, при этом системы пешеходного и велосипедного движения оснащены достаточным освещением.	8	8
1.6	Принятие мер по повышению адаптивности (технологичности) зданий: 1. Принятие общедоступного, открытого и гибкого дизайна используемого пространства и т.д.; 2. Разделение конструкции здания и инженерных коммуникаций; 3. Использование способов расположения и управления оборудованием и установками, соответствующих функциям здания и изменениям в пространстве.	11	18
1.7	Принятие мер по повышению долговечности строительных деталей и компонентов	10	10
1.8	Повышение долговечности конструкций и материалов здания: 1. Разработка на долговечность сроком на 100 лет; 2. Использование строительных материалов с высокой долговечностью.	10	10
1.9	Рациональное использование долговечных и легко обслуживаемых отделочных и декоративных строительных материалов: 1. Использование внешних отделочных материалов с хорошей долговечностью; 2. Использование водонепроницаемых и герметичных материалов с хорошей долговечностью; 3. Использование внутренних отделочных и декоративных материалов, которые долговечны и легки в обслуживании.	6	9
Итого		90	100

Общий балл находится по формуле:

$$Q = (Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_A)/10,$$

где  $Q_0$  – базовое количество баллов за выполнение обязательных (предварительных) требований, максимальное количество – 400 баллов;  $Q_1 - Q_5$  – количество баллов за оценку объекта по пяти категориям,  $Q_A$  – бонусы за продвижение и инновации.

Расчет показывает, что  $Q = (400 + 90 + 78 + 52 + 93 + 68 + 0)/10 = 78,1$ , что соответствует оценке объекта в 2 звезды ( $> 70$ ).

Несмотря на высокую оценку объекта, видно, что в категориях «Ресурсосбережение» и «Удобство проживания» выполнено менее или около половины требований (93 балла из 200 и 52 из 100, соответственно), а в категории «Комфортность окружающей среды» – 2/3 (68 баллов из 100). Можно поднять ценность объекта за счет невыполненных критериев, например, таких

как внедрение системы мониторинга и управления потреблением энергии в здании, снижение среднесуточного потребления воды, использование нетрадиционных источников воды, управление дождевым стоком, устройство зеленых зон, обустройство дорожек для фитнеса и др. В отношении материалов для внешней отделки также стоит рассмотреть использование более экологичных и долговечных материалов, например, водных фторополимерных красок, которые обладают долговечностью более 20 лет и благодаря своей водорастворимости способствуют защите окружающей среды и экономии энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ozge Suzer Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual certified projects // Building and Environment. 2019. V. 147. P.158–170.
2. Yair Schwartz, Rokia Raslan. Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study // Energy and Buildings. 2013. V.62. P.350–359.
3. Кошелева Е., Эллиот Дж. Экологическое строительство в Российском контексте: исследование рейтинговой системы экологического строительства по типу LEED в Российской Федерации // JournalofGreenBuilding. 2006. Vol. 1, № 3. P. 5–10.
4. A Systematic Review of Green Building Development in China: Advantages, Challenges and Future Directions / Yu Cao, Cong Xu, Syahrul Nizam Kamaruzzaman and Nur Mardhiyah Aziz // [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12293> (Дата обращения 15.02.2024)
5. Ван Юйсян, Молодкина Л.М. Сравнение рейтинговых систем зеленого строительства России и Китая / Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 231–233.
6. Assessment standard for green building GB/T 50378-2019: [Электронный ресурс] // URL: <https://www.iea.org/policies/7915-gbt-50378-2014-green-building-evaluation-standard> (Дата обращения 18.02.2023).

УДК 699.822

М.П. Захарова, К.Н. Криулин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ВСПЛЫТИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДОВ

Одной из основных тенденций в современном градостроительстве можно признать развитие использования подземного пространства городов. В крупных городах, где чрезвычайно остро проявляется проблема использования личного автотранспорта, интенсивно ведется строительства подземных паркингов. При этом в регионах, для которых характерно расположение уровня грунтовых вод (УГВ) вблизи поверхности земли, необходима разработка мероприятий по защите подземных сооружений от влияния грунтовых вод [1, 2], в том числе от эффекта «всплытия» подземных сооружений.

Эффект всплытия подземных сооружений становится значимым, когда вес сооружения (надземной и подземной части) меньше, чем выталкивающая сила, действующая на часть сооружения, расположенную ниже УГВ. Пренебрежение к данному явлению приводит к возникновению дефектов конструкции [3].

*Цель работы* – выполнить оценку условий возникновения и способы снижения эффекта «всплытия» на примере подземного паркинга. Для проведения исследования была составлена условная расчетная схема одноэтажного подземного паркинга (рис.1).

Согласно [2], устойчивость здания всплытию обеспечена, если выполняется следующее условие:

$$\gamma_w H_o A \leq \gamma_{f1} \sum G_{stb,c} + \gamma_{f2} \sum G_{stb,l} + \gamma_{f3} \sum R_{stb}. \quad (1)$$

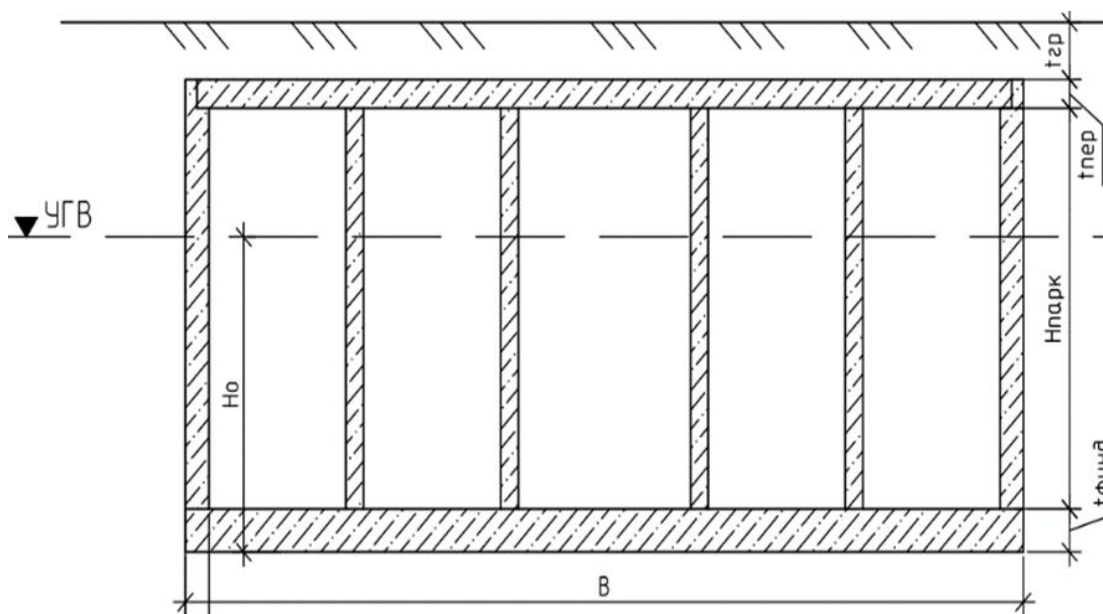


Рис. 1. Расчетная схема подземного паркинга. В схеме приняты следующие условные обозначения:  $B$  – ширина здания;  $t_{\text{фунд}}$  – толщина фундамента;  $t_{\text{пер}}$  – толщина перекрытия;  $t_{\text{ст}}$  – толщина наружных стен паркинга;  $H_{\text{парк}}$  – расстояния от пола паркинга до низа перекрытия;  $t_{\text{гр}}$  – толщина слоя грунта;  $H_0$  – расчетная высота напора воды

В этой формуле используются следующие обозначения:  $\gamma_w$  – удельный вес воды,  $\text{кН/м}^3$ ;  $H_0$  – расчетная высота напора воды, отсчитываемая от подошвы подземной части сооружения до максимального уровня подземных вод, м;  $A$  – площадь подземной части сооружения,  $\text{м}^2$ ;  $\sum G_{\text{stb},c}$  – сумма нормативных значений постоянных вертикальных удерживающих нагрузок, включая собственный вес несущих конструкций сооружения,  $\text{кН}$ ;  $\sum G_{\text{stb},l}$  – сумма нормативных значений временных длительных удерживающих вертикальных нагрузок, включая вес полов и перегородок сооружения, грунта обратной засыпки над обрезами фундаментов и подземной частью сооружения,  $\text{кН}$ ;  $\sum R_{\text{stb}}$  – сумма нормативных значений удерживающих вертикальных составляющих сил сопротивления всплытию в основании, включая силы трения, сопротивления свай выдергиванию, натяжения анкеров и др.,  $\text{кН}$ ;  $\gamma_{f1} = 0,9$ ,  $\gamma_{f2} = 0,85$ ,  $\gamma_{f3} = 0,65$  – коэффициенты надежности по нагрузке.

Для расчета паркинга на всплытие приняты следующие параметры: длина паркинга – 50 м;  $B = 25$  м;  $t_{\text{фунд}} = 0,3$  м;  $t_{\text{пер}} = 0,2$  м;  $t_{\text{гр}} = 0,4$  м;  $H_{\text{парк}} = 2,8$  м;  $t_{\text{ст}} = 0,2$  м; площадь сечения несущих колонн –  $0,16 \text{ м}^2$ ; количество колонн – 32; вид грунта – супесь; конструкции паркинга – железобетонные. Расчетную глубину залегания грунтовых вод примем 1,0 м.

Также для дальнейшего расчета были использованы следующие величины: удельный вес воды –  $9,81 \text{ кН/м}^3$ ; плотность железобетона –  $2,5 \text{ т/м}^3$ ; ускорение свободного падения –  $9,8 \text{ м/с}^2$ ; плотность грунта –  $1600 \text{ кг/м}^3$ ; удельное сцепление грунта в соответствии с [2] принимается равным 0, для супеси угол внутреннего трения –  $20^\circ$ ; коэффициент Пуассона согласно [4] принимается равным 0,33.

По (1) получаем:  $33000 \geq 24000 \text{ кН}$  (или  $26,4 \geq 19,2 \text{ кН/м}^2$ ). Это означает, что на подземное сооружение действует выталкивающая сила почти в 9 т ( $7,2 \text{ кН/м}^2$ ), заставляя его «всплывать».

В случае, если вследствие каких-либо причин (например: неэффективная работа системы дождевой канализации, дренажных систем) УГВ поднимется до планировочных отметок, то выталкивающая сила в этой ситуации составит уже 20 т ( $16 \text{ кН/м}^2$ ).

Для устранения эффекта всплытия можно предложить следующие технические решения или их комбинацию:

- увеличение толщины фундамента паркинга до 0,9 м (увеличение объема бетона  $\approx 750 \text{ м}^3$ ;
- поднятие подземного паркинга на 1,0 м (что равноценно строительству полуподземного сооружения);
- устройство дренажа по типу пластового дренажа [4], также можно применить пристенный или кольцевой дренаж [5];
- применение анкеров согласно [6].

В рассмотренном выше случае анализ проводился для простейшего варианта с равномерно распределенной по фундаментной плите нагрузкой от веса зданий. Однако, все более широко используются схемы конструкций зданий с неравномерно распределенной нагрузкой. На рис. 2 представлены схема одностороннего (а) и диаметрального (б) расположения зданий на кровле подземного паркинга.

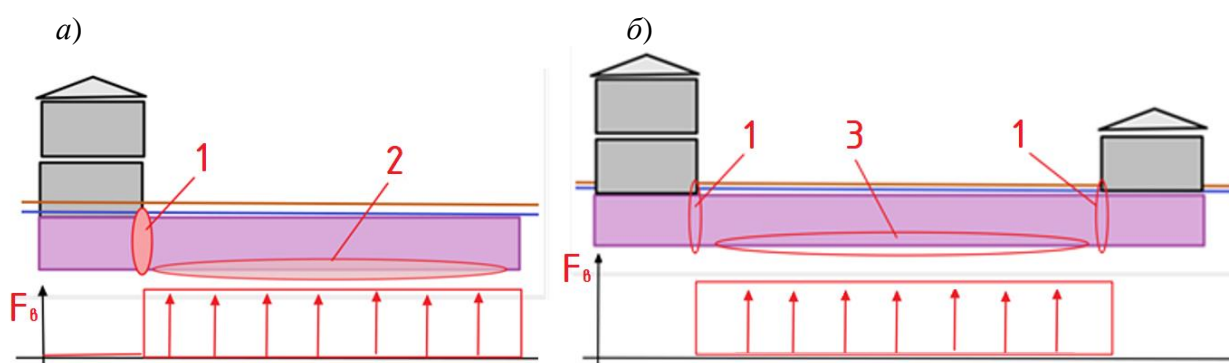


Рис. 2. Схемы расположения зданий на кровле подземного паркинга и схемы эпюры выталкивающей силы: 1, 2, 3 – критические зоны потенциальных деформаций, вызванных эффектом «всплытия»

Под зданиями (в пригруженной части кровли паркинга) выталкивающая сила отсутствует. В остальной части паркинга (вне расположения зданий) выталкивающая сила может составлять значимую величину. Это создает предпосылки:

- для возникновения дополнительных нагрузок, а значит и для потенциальных деформаций в зоне контакта этих зон – рис. 2, зона 1;
- для усиления растягивающих усилий (с максимумом вблизи здания) в нижнем поясе железобетонной фундаментной части плиты паркинга – рис. 2, зона 2;
- для усиления растягивающих усилий (с максимумом по середине между зданиями) в верхнем поясе железобетонной фундаментной части плиты паркинга – рис. 2, зона 3.

Наличие растягивающих усилий в железобетонной фундаментной плите паркинга при недостаточном армировании может являться причиной раскрытия трещин и, как следствие, возникнет инфильтрация грунтовых вод в объем паркинга.

Подводя итоги, следует сделать *вывод*, что при строительстве подземных сооружений нельзя пренебрегать расчетом эффекта всплытия, так как выталкивающая сила может достигать значительных величин и являться причиной негативных последствий.

Негативные последствия эффекта всплытия возрастают:

- при увеличении заглубления подземного сооружения под УГВ;
- при увеличении объема подземного сооружения, заглубленного под УГВ;
- при неравномерности распределения нагрузки на кровлю подземного сооружения;
- при увеличении плановых горизонтальных размеров паркинга.

Выбор варианта комплекса технических решения «антивсплытия» должен основываться на технико-экономическом сравнении возможных решений.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод.
2. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*
3. Гурский А.В., Левинтов Г.В. Проблемы неравномерного всплытия подземного паркинга в Санкт-Петербурге // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 16–25. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.02
4. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85
5. Криулин К.Н. Дренажные системы в ландшафтном и коттеджном строительстве СПб: Изд-во ООО «НП-Принт», 2014 – 121 с.
6. Подземное строительство: учеб. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. Ун-та, 2014 – 262 с.

УДК 699.841

Чень Гуан Фень, Д.А. Шарапов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Разрушительные землетрясения могут вызвать отделение конструктивных элементов здания друг от друга, в результате чего вся конструкция отделится и рухнет, приводя к огромным экономическим и человеческим потерям [1]. Программное обеспечение для конечно-элементного анализа зданий используется для анализа сейсмических нагрузок на структуру ВМ-модели здания во время землетрясения и для предложения эффективных решений по усилению конструкции для обеспечения безопасности здания.

*Цель работы* состоит в анализе сейсмических характеристик усиленной каркасной конструкции с использованием метода метод статического нелинейного анализа.

Проведение сейсмического анализа и проектирование усиления рассматривалось на примере проекта существующего здания. Это прямоугольное офисное здание с расчетным сроком службы 50 лет, построенное в 2001 году в новом районе Сионган, провинция Хэбэй, Китай. Офисное здание имеет 3-этажную железобетонную каркасную конструкцию. Проектная высота первого этажа офисного здания составляет 3,6 м, а высота остальных этажей 3,3 м. Общая высота офисного здания оставляет 10,80 м, а естественный перепад высот внутри и снаружи 0,60 м. Общая площадь здания составляет около 4500 м<sup>2</sup>. Интенсивность сейсмического укрепления нового района Сионган, в котором построено здание, составляет 8 градусов, а базовое расчетное ускорение землетрясения 0,1g. В сейсмическом кодексе расчетное землетрясение отнесено ко второй группе, а категория площадки – ко II категории [2]. Фундаменты, балки и колонны офисного здания выполнены из бетона С30 ( $f_c = 14,30$  Н/мм<sup>2</sup>,  $f_t = 1,43$  Н/мм<sup>2</sup>). Основная арматура изготовлена из стальных прутьев марки HRB300, а вспомогательное армирование из горячекатаных стальных прутьев марки HRB235 ( $f_y = 270$  Н/мм<sup>2</sup>). Стальные стержни в рамах, плитах и колоннах включают продольные и поперечные стальные стержни, подверженные растяжению, изготавливаются из горячекатаных стальных стержней с маркой стали HRB400 ( $f_y = 360$  Н/мм<sup>2</sup>).

В Китае в качестве основы для расчета сейсмического воздействия строительных конструкций используется теория спектра сейсмического отклика, представленная в виде кривой коэффициента сейсмического воздействия. Под спектром сейсмического воздействия понимается кривая максимального упругого отклика системы с точечной приведенной массой, изменяющейся при изменении сейсмического ускорения [3]. Кривая сейсмического воздействия берется из «Стандарта сейсмической оценки зданий» (GB50023-2009), а стандартное значение горизонтальной сейсмической нагрузки для каждого слоя вычисляется

по формуле 1. Затем стандартное значение прочности материала используется при расчете несущей способности соответствующих компонентов, а расчет сейсмической проверки сечения бетонного конструктивного элемента рассчитывается по формуле 2 [4].

$$F_i = G_i H_i F_{EK} (1 - \delta_n) / \sum G_j H_j, \quad (1)$$

где  $F_{EK}$  – стандартное значение суммарного горизонтального сейсмического воздействия на конструкцию;  $G_i, G_j$  – репрезентативные значения гравитационной нагрузки на частицу  $i$  и  $j$  соответственно;  $H_i, H_j$  – расчетные высоты частиц  $i$  и  $j$  соответственно;  $\delta_n$  – дополнительное горизонтальное сейсмическое воздействие в верхней части.

$$S \leq R / \gamma_{RE}, \quad (2)$$

где  $S$  – расчетное значение комбинации внутренних сил для данного элемента конструкции;  $R$  – расчетное значение несущей способности элементов конструкции;  $\gamma_{RE}$  – коэффициент сейсмической корректировки несущей способности (из таблицы).

Расчеты были выполнены в программе SAP2000 [5]. Она подходит в основном для анализа сложных конструкций с локальной нелинейностью (например, изоляция основания или локальная текучесть блоков надстройки). Программа позволяет выполнять модельные расчеты для основной конструкции здания и рассчитывать несущую способность балочной и колонной конструкции, определить стандартные коэффициенты армирования и осевого сжатия каждого этажа здания. Результаты проведенных расчетов были сверены с исходным чертежом строительного проекта (рис. 1), и было установлено, что продольная арматура боковых колонн на первом этаже здания недостаточна, ригели боковых колонн на втором этаже недостаточны, арматура балок на втором этаже недостаточна. Таким образом, несущая способность части элементов не соответствует требованиям.

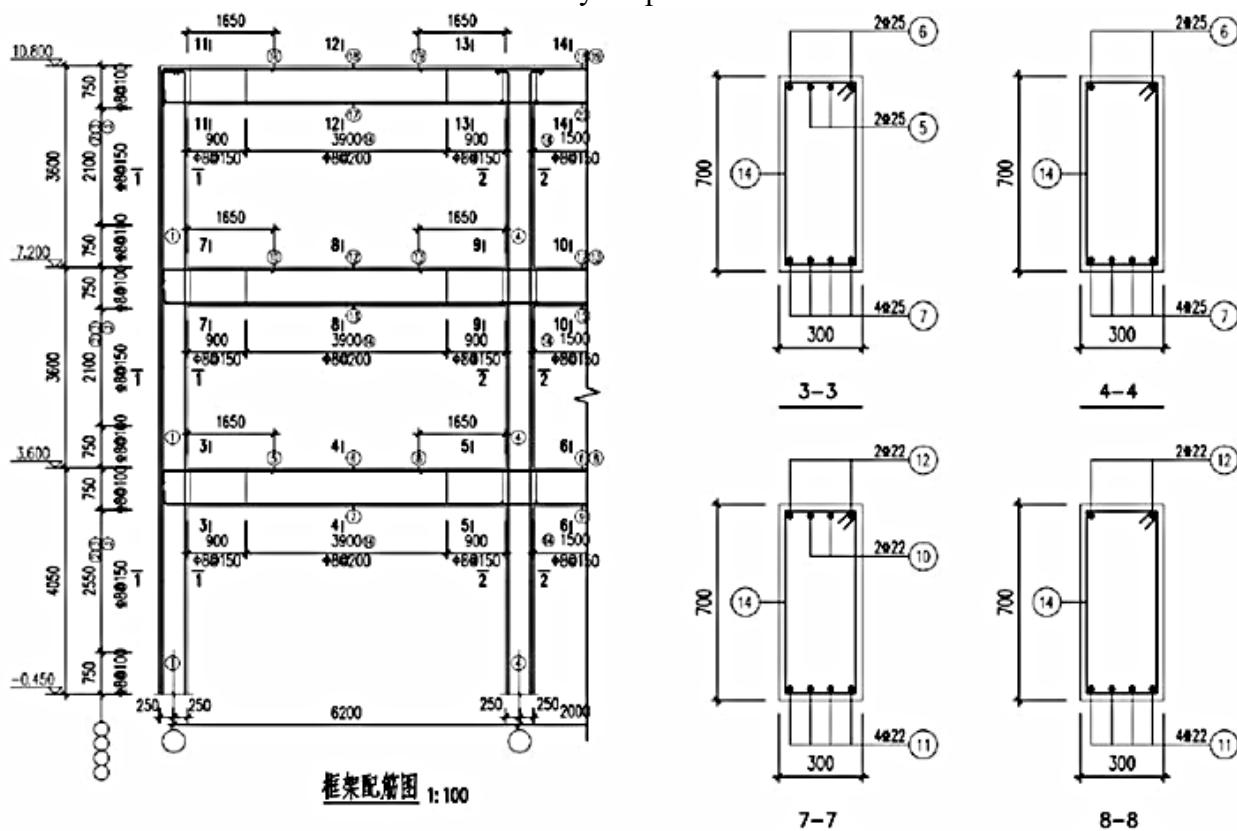


Рис. 1. Чертеж арматуры для архитектурного проектирования

Было решено применить метод внешнего армирования. Усиленная конструкция демонстрирует увеличение прочности за счет совместности работы исходных несущих элементов и элементов их усиления. После усиления несущая способность и жесткость



сечения могут быть рассчитаны на основе нового большего сечения, но вторичное напряжение умножается на коэффициент использования прочности сжимающей части стали, чтобы обеспечить безопасность усиленной конструкции. Метод расчета заключается в вычислении приблизительной жесткости  $EI$  секции в соответствии с формулой 3 «Кодекса проектирования стальных конструкций» (GB50017). Если для усиления бетонного осевого сжатия используется угловая или швеллерная сталь с внешней связью, несущая способность нормального сечения рассчитывается по формуле 4 [5].

$$EI = E_{c0}I_{c0} + 0,5E_aA_a a_a^2, \quad (3)$$

где  $I_{c0}$  – момент инерции исходной секции;  $E_{c0}$ ,  $E_a$  – модули упругости исходного бетона и арматуры соответственно;  $A_a$  – площадь поперечного сечения стали с внешней связью с одной стороны арматурного элемента;  $a_a$  – расстояние между стержнями стальных секций по обе стороны от растяжения и сжатия.

$$N \leq 0,9\varphi(f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_a f'_a A'_a), \quad (4)$$

где  $N$  – расчетное значение осевого давления после усиления элемента;  $\varphi$  – коэффициент устойчивости осевого сжатия, рассчитываемый в соответствии с «Кодексом проектирования железобетонных конструкций» (GB50010) на основе размера поперечного сечения после армирования;  $\alpha_a$  – коэффициент использования прочности стали нового сечения; за исключением сейсмической конструкции, которая принимает значение 1,0, остальные принимают значение 0,9;  $A'_s$  – площадь поперечного сечения всех стальных лимбов давления.

В заключение, проведен анализ сейсмических характеристик усиленной каркасной конструкции с использованием метода Pushover (метод статического нелинейного анализа). При этом методе структурного анализа, рассматриваемая модель достигает предельных состояний, которые могут соответствовать опрокидыванию конструкции или заданному перемещению на высоте конструкции по определенной предписанной форме распределения и под действием постепенно возрастающей боковой силы или бокового смещения [6]. Сначала с помощью расчетной модели конструкции рассчитывается фактическая несущая способность элементов конструкции, затем оценивается трещиностойкость, упругость и жесткость элементов после смятия; наконец, с помощью анализа методом опрокидывания оценивается межслойная боковая жесткость и угол межслойного смещения и определяется кривая несущей способности конструкции. Затем с помощью программы конечных элементов SAP2000 проводится статический упругопластический анализ инженерной конструкции для анализа сейсмических характеристик конструкции до и после усиления при воздействии землетрясения. Конструкции анализируются с использованием нагрузок в различных направлениях  $X$  и  $Y$  [7]. В итоге было установлено, что при действии землетрясений углы продольных и поперечных межэтажных смещений усиленной конструкции были меньше, чем у исходной конструкции. Максимальный угол межэтажного смещения в направлении  $X$  усиленной конструкции составил 1/106, что меньше, чем 1/50, и соответствует требованиям спецификации. Максимальный угол межэтажного смещения в направлении  $Y$  составляет 1/87, что меньше 1/50, что соответствует требованиям спецификации. Таким образом, усиленная каркасная конструкция отвечает требованиям китайского сейсмического кодекса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Акахаша О, Аида Х. Строительство гражданского здания с использованием трехмерной системы сейсмоизоляции (часть 1, проектирование здания с использованием трехмерной системы сейсмоизоляции) [С] // Пекин, 2008 г. [китайский].
2. Kashiwazaki A., Shimada T., Fujiwaka T. et al. Feasibility testing of a three-dimensional basic insulation system including a hydraulic system [С] // Proceedings of the ASME 2002 Conference on Pressure Vessels and Piping. Vancouver, British Columbia, Canada, 2008: 11–18.
3. Lubkovsky Z.A., Duan K. EN1998 Eurocode 8: Design of earthquake-resistant structures [J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. – Civil Engineering, 2001, 144(6).

4. Рекомендации FEMA273 NEHRP по сейсмической реабилитации зданий[R]. [китайский].
5. Программа ЭВМ «sap2000», URL: <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>.
6. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Technical manual KHAZUS-MHMP4[J]. National Institute of Building Sciences and Federal Emergency Management Agency (NIBS and FEMA), 2003:712.
7. Шарапов Д.А. Эффект сноса этажей многоэтажного дома под воздействием землетрясения / Д.А. Шарапов, Т.Х. Гебре, Ю.М. Али // Строительная механика инженерных сооружений и зданий. – 2021. – Том. 17, № 3. – С. 270-277. – DOI 10.22363/1815-5235-2021-17-3-270-277.
8. Ву С., Пан П., Не Х и др. Экспериментальное исследование ремонтпригодности каркасной конструкции заполненной качающейся стены [J]. Сейсмостойкое проектирование и структурная динамика, 2017, 46 (15): 1–16. [китайский].

УДК 624.011.14

А.К. Углов, С.А. Агафонов, П.Ю. Михеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНО-КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В РОССИИ

Активное развитие деревянного домостроения, обеспеченное технологическим и научно-техническим прогрессом, во многом связано с формированием принципов устойчивого развития, основанных на удовлетворении потребностей настоящего времени без подрыва возможности удовлетворения потребностей будущих поколений. Устойчивое развитие предполагает принятие мер по снижению негативного антропогенного воздействия при формировании природно-технических систем, в том числе через использование экологичных и возобновляемых строительных материалов, к которым относится древесина. Значительный прогресс в области технологий производства, совершенствование методик расчета и конструирования, а также накопленный к настоящему времени опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений различной степени сложности из древесины и ее производных, позволяют широко применять клееные деревянные конструкции (КДК) в строительной индустрии. Одним их наиболее перспективных видов КДК является древесина перекрестно-клееная (ДПК) или cross-laminated timber (CLT).

*Цель работы* – рассмотреть возможность применения ДПК в строительной индустрии России.



Рис. 1. Общий вид ДПК-панели

Строительные изделия из ДПК представляют собой многослойную конструкцию, в которой ламели уложены послойно и склеены между собой во взаимно перпендикулярном направлении (рис. 1). Толщина готового изделия варьируется от 60 до 400 мм, длина может достигать 20 м, а ширина – 3,5 м и более. Число слоев в одном таком

элементе может достигать 11, но наиболее распространёнными являются 3, 5 и 7-слойные панели/плиты из ДПК.

По состоянию на 2022 г. на российском рынке плит ДПК работает не более десяти предприятий. Наиболее масштабный выпуск плит данного вида в размере 167 тыс. м<sup>3</sup> в год в настоящее время реализует «Ладожский ДСК», который вошел в строй в апреле 2021 г. В январе 2021 г. введен в промышленную эксплуатацию ещё один завод ДПК-панелей – «Сокол СиЭлТи», мощности предприятия рассчитаны на выпуск 50 тыс. м<sup>3</sup> плит в год [1]. Для сравнения, объём производства на европейском рынке ДПК на 2023 г. составил 1,7 млн м<sup>3</sup>. Прогнозный показатель на 2032 г. – 4 млн м<sup>3</sup>, что обеспечивает ежегодный прирост 9,4% [2].

В свою очередь, ДПК – экологичный строительный материал. Сравним показатели выбросов загрязняющих веществ при производстве различных строительных материалов, приведенных к эквиваленту углекислого газа. В таблице 1 представлены показатели для ДПК и трех основных строительных материалов: цемента, клинкера и стали [3].

Таблица 1 – Сравнение эмиссий при производстве различных стройматериалов

№ п.п.	Наименование материала	Выбросы вредных веществ в CO <sub>2</sub> -эквиваленте, кг CO <sub>2</sub> /т
1	ДПК	76
2	Цемент	594
3	Клинкер	771
4	Сталь	~1000

Технология ДПК получила широкое распространение в строительной практике при возведении жилых и общественных зданий во многих странах мира. Среди лидеров необходимо выделить следующие страны: Великобританию, Австралию, Австрию, Канаду и Италию. Рассмотрим примеры реализованных проектов с использованием ДПК в современном строительстве [4].

Via Cenni, 2013 г., Италия. – Жилой комплекс, состоящий из четырёх 9-этажных корпусов, которые объединены общим стилобатом. Все несущие конструкции, включая ядра жёсткости, а также перекрытия выполнены из ДПК. Толщина стен зданий с высотой ступенчато уменьшается и составляет: для первого этажа 200 мм, 2–4 этажей – 180 мм, 5 и 6 этажей – 160 мм, 7 и 8 этажей – 140 мм, и 9 этажа – 120 мм. Толщина плит перекрытий также меняется в зависимости от действующих нагрузок и пролётов и составляет 120, 230 и 200 мм (рис. 2,а) [4].

Brock Commons, 2015 г., Канада. – Здание студенческого общежития высотой 18 этажей. Фундаменты, колонны цокольного этажа и ядра жёсткости выполнены из железобетона. Остальные элементы каркаса здания и межэтажные перекрытия, а также фасадные панели выполнены из КДК, в том числе из 5-слойных элементов из ДПК (рис. 2,б) [4].

а)



б)



Рис. 2. Общий вид: а – общий вид комплекса Via Cenni; б – здания Brock Commons [4]

NoHo Wien, 2016 г., Австрия. – Многофункциональное здание высотой 24 этажа. В комплексе расположены квартиры, офисные помещения, гостиничные номера, ресторан и фитнес-центр. В качестве несущей основы выступают железобетонные ядра жёсткости и каркас из КДК. Плиты перекрытий и наружные стены выполнены из ДПК. Доля применения КДК в проекте – 75 % (рис. 3,а) [4].

Соколики, 2022 г., Россия. – Первый в России жилой комплекс (высотой 4 этажа) из ДПК. Объект был реализован холдингом Segezha Group в г. Сокол (Вологодская обл.). Каждое здание комплекса включает 32 одно- и двухкомнатных квартиры площадью от 48 до 65 м<sup>2</sup>. Стоимость одного квадратного метра в жилом комплексе составила порядка 70 тыс. руб. Для сравнения, стоимость одного м<sup>2</sup> на вторичном рынке в г. Сокол составляет порядка 33–50 тыс. руб. (рис. 3,б).

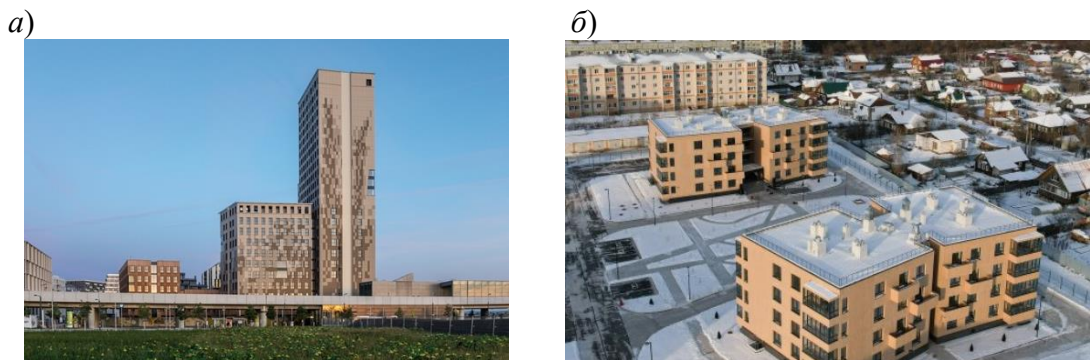


Рис. 3. Общий вид: а – здания НоНо Wien; б – комплекса в г. Сокол [4]

Высокие механические характеристики, низкая плотность, высокая коррозионная стойкость современных строительных материалов на основе древесины позволяют обеспечить высокую надежность и конструктивную безопасность зданий и сооружений, а также значительную экономию материалов.

Древесина относится к наиболее эффективным строительным материалам при работе в сейсмоопасных районах, к которым относится около 30 % территории Российской Федерации. Современные же технологии — в частности технология изготовления строительных элементов из ДПК, позволяют сделать этот материал высокотехнологичной и экологически чистой альтернативой железобетонным и каменным конструкциям. Так, по результатам проведенных испытаний на перекося, разрушающая статическая нагрузка, по достижении которой работа образцов перешла в стадию пластических деформаций, составила 120 т для 5-слойной панели и 115 т для 7-слойной панели [5]. Для сравнения, разрушающая нагрузка для железобетона (толщина 100 мм, армирование – сетка стержней диаметром 16 мм) – 30 т, для одинарной кирпичной кладки – 20 т, кладки, усиленной железобетоном, – 30 т [6].

Высокая степень индустриализации, т. е. переноса значительной части ответственных операций на производство, позволяет исключить ресурсоемкие процессы при выполнении СМР в том числе в сложных климатических условиях, что весьма актуально при освоении арктических территорий в нашей стране.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Предприятия на рынке CLT-панелей в России. – URL: [https://www.lesonline.ru/analytic/?cat\\_id=12&n=411160](https://www.lesonline.ru/analytic/?cat_id=12&n=411160) (дата обращения: 7.03.2024 г.)
2. European Cross-Laminated Timber Market Report 2024-2032. – URL: <https://www.imarcgroup.com/european-cross-laminated-timber-market> (дата обращения: 7.03.2024 г.)
3. Younis, Adel & Dodoo, Ambrose. (2022). Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview. *Journal of Building Engineering*. 52. 104482. 10.1016/j.job.2022.104482.
4. Герасимович А.А., Агафонов С.А. Обзор мирового опыта применения и строительства многоэтажных зданий на основе клееных деревянных конструкций // Вестник магистратуры. 2020. № 5–3 (104).
5. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрёстно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 2. С.62–80. DOI: 10.37153/2618-9283-2022-2-62-80.
6. Бубис А.А. Прочность и деформативность каменно-монолитных стен зданий при плоском напряженном состоянии, в том числе при сейсмическом воздействии: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. – М., 2020. – 159 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ НАВЕСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

На сегодняшний день увеличивающееся количество новых строительных проектов требует оригинальных архитектурных решений, которые не всегда можно реализовать с использованием традиционных строительных материалов. Строительные конструкции из пластмасс успешно используются на протяжении последних пяти десятилетий. В основном они охватывают воздухоопорные и тентовые конструкции покрытий сооружений. Однако только сейчас реализуются принципиально новые проекты, позволяющие привести новые решения, например, в ограждающие конструкции зданий, например, навесные фасады, изготовленные из высокопрочных текстильных полотен [1, 2].

Текстильные навесные фасады (ТНФ) в качестве ограждающих конструкций зданий и сооружений являются весьма привлекательны из-за их способности охватывать большие площади фасадов. Площадь таких текстильных фасадов может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен квадратных метров [3–5].

ТНФ изготавливаются, как правило, из высокопрочной технической полиэфирной ткани полотняного переплетения. Также могут применяться пленочные покрытия. Для обеспечения долговечности используются технические ткани с поливинилхлоридным, политетрафторэтиленовым, полиуретановым или силиконовым покрытием. Это позволяет противостоять механическим нагрузкам и надежно защищать от негативных воздействий окружающей среды, включая ультрафиолет, осадки и др.

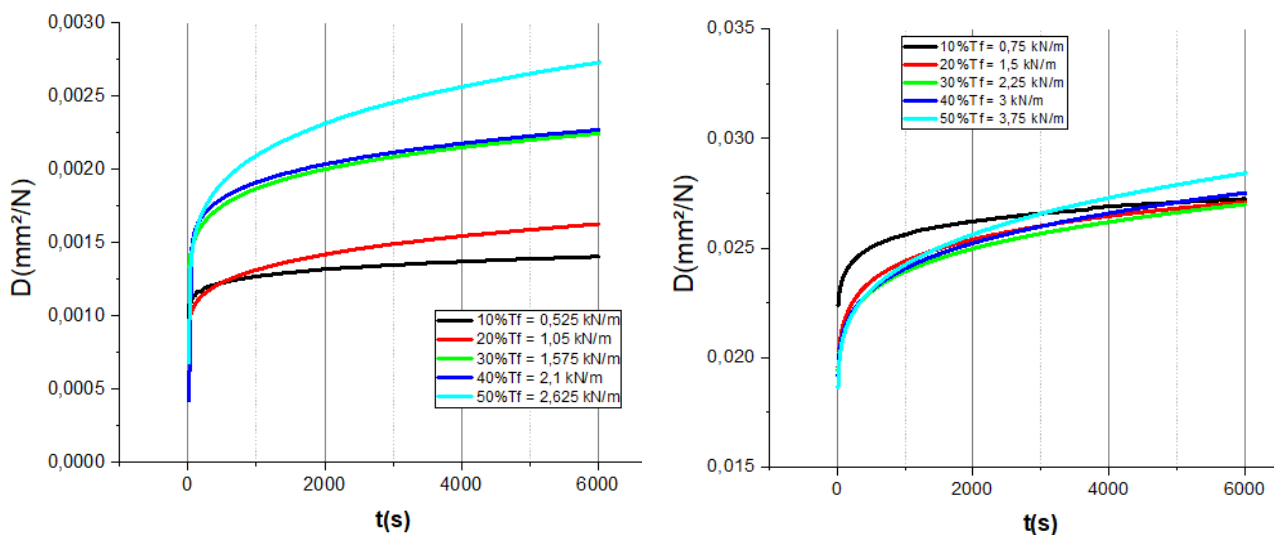


Рис. 1. Зависимость деформации ползучести при удлинении от времени для двух разных образцов текстильного материала

При выполнении прочностного или термического анализа текстильных фасадов предполагается, что механические свойства текстиля, не зависят от фактора времени, а деформация считается линейно зависимой от приложенного напряжения к ткани, т.е. их прочность и жесткость остаются постоянными в течение длительного времени. Однако проведенные нами впервые лабораторные исследования по релаксацию напряжений на различных образцах текстиля показали, что свойства материалов зависят от времени, а жесткость не остается постоянной.

На рис. 1 наглядно показаны результаты наших лабораторных испытаний на ползучесть, целью которых является характеристика поведения текстиля. Они были выполнены на универсальной испытательной машине Instron (модель 5965). Математическое выражение, описывающее полученные опытные зависимости между деформацией и напряжением, подтверждает временную зависимость и нелинейное поведение:

$$\varepsilon(t, \sigma_x) = \left( D_{0,10} + \alpha_{1,10} \left( 1 - e^{-\frac{-t}{\tau_{1,10}}} \right) + \alpha_{2,10} \left( 1 - e^{-\frac{-t}{\tau_{2,10}}} \right) \right) (\sigma_x)^{k(x)},$$

где  $D_{0,10}$ ,  $\alpha_{1,10}$ ,  $\alpha_{2,10}$ ,  $\tau_{1,10}$ ,  $\tau_{2,10}$  – константы, которые определяются из функции «Expassoc» интерполяции кривой податливости ползучести на уровне 10% от максимальной нагрузки, а  $\sigma_x$  – приложенное напряжение на уровне  $x$  максимальной нагрузки  $\sigma_0$ , его можно выразить следующим образом:  $\sigma_x = x\% * \sigma_0$ , а  $k(x)$  – это степень вязкоупругости материала, которая буквально относится к уровню  $x$  приложенного заряда  $\sigma_x$ .

Следовательно, в работе над диссертацией следует принять во внимание характеристики нелинейного поведения текстиля, который будет изучаться на нашем вентилируемом фасаде. Основные положения, которые будут использованы при проведении исследования, показаны на рис. 2.

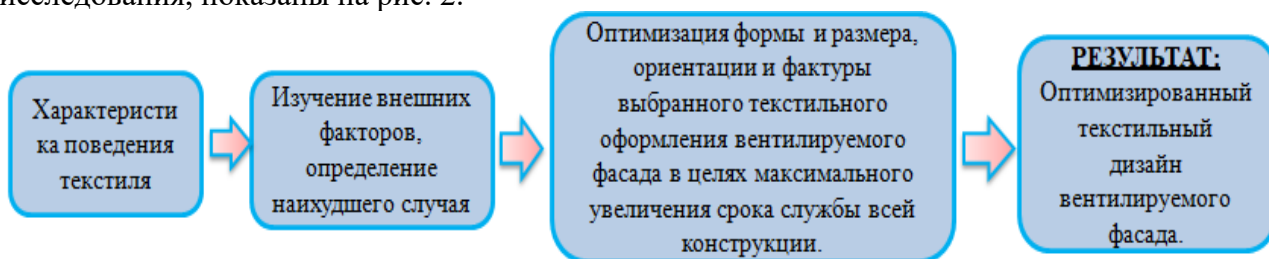


Рис. 2. Общая стратегия и план исследования

*Цель работы* – проектирование и расчет конструкций навесных текстильных фасадов зданий с учетом особенностей их свойств.

В настоящей работе выполняется проектирование конструкций текстильных навесных фасадов с учетом внешних факторов воздействия. Рассматриваются следующие механические и погодные воздействия: стойкость к механическим повреждениям, например проколам и порезам; прочность швов и соединений; снеговые и ветровые нагрузки; релаксацию напряжений из-за предварительного натяжения полотен; устойчивость к солнечным излучениям; устойчивость к перепадам температур и влажности. Текстильный слой имеет непостоянную теплопроводность, которая варьируется в зависимости от различных параметров, таких как толщина текстиля и размер пор волокна [6], ориентация и вязкоупругое поведение, которые являются основными факторами в остальной части данного исследования по оптимизации разрабатываемой текстильной конструкции вентилируемого фасада.

Тип линейности вязкоупругого поведения текстильного материала оказывает очень большое влияние на зависимость поведения ползучести, влияющую на структуру поры воздуха, точку росы и срок службы всей конструкции вентилируемого фасада. Исследование основывается на предварительно разработанной текстильной навесной конструкции вентилируемого фасада. Схематичное изображение разрабатываемой текстильной фасадной конструкции приведено на рис. 3. Предварительно разработанный нами текстильный вентилируемый фасад играет ключевую роль в исследовании. Основная цель проектирования ТНФ – оптимизация формы, размера и ориентации текстильного полотна для повышения эффективности и срока службы.

В настоящее время существует недостаточное количество нормативных документов для расчета и проектирования текстильных материалов для навесных фасадов, что ограничивает их распространение [7]. Исследование свойств текстильного полотна, его защитного покрытия и воздействия на него важно для повышения долговечности ТНФ.

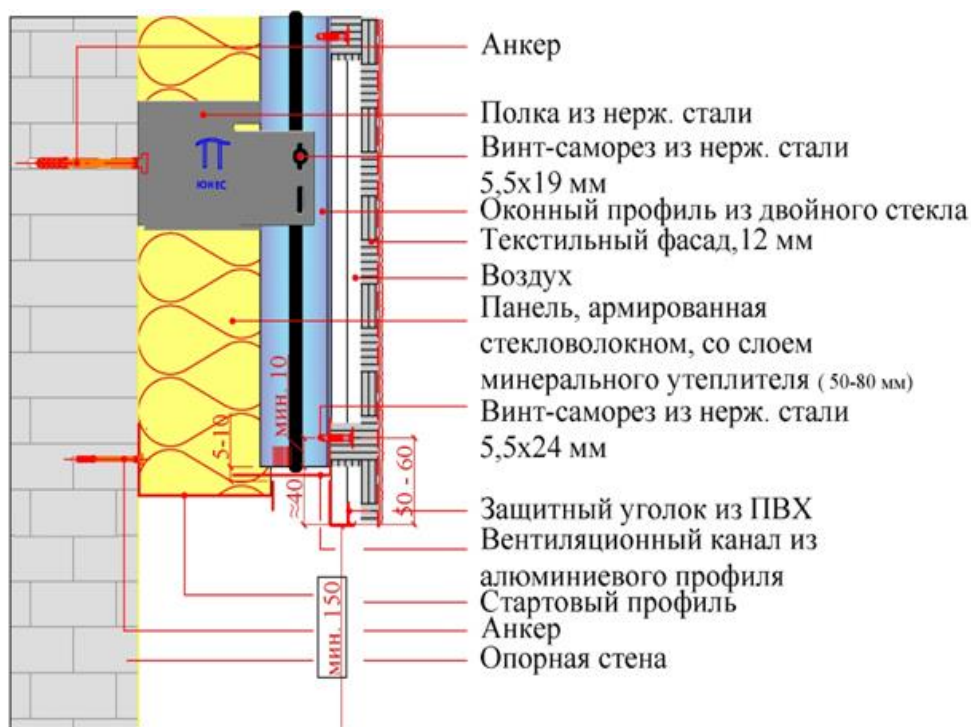


Рис. 3. Схема разрабатываемой текстильной фасадной конструкции вентилируемого фасада

Цели первого этапа исследования полностью выполнены, запланированная стратегия четко описана, модель, над которой ведется работа, спроектирована и объяснена нами, на данный момент мы изучаем самую сложную часть – характеристику текстиля, который будет рассматриваться в оставшейся части исследования. После этого планируется начать непосредственное изучение внешних факторов и выявлять наихудшее условие для такого текстильного вентилируемого фасада.

В представленной статье обоснована важность принятия во внимание характеристик текстиля, используемого в любом анализе, перед любым шагом, поскольку зависящий от времени нелинейный вязкоупругий материал, несомненно, повлияет на срок службы конструкции в целом и на работоспособность текстильного вентилируемого фасада.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Леденев В.В., Худяков А.В. Оболочечные конструкции в строительстве. Теория, проектирование, конструкции, примеры расчета: учебное пособие для проектировщиков, бакалавров, магистров и аспирантов строительных специальностей. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. 272 с.
2. Мыскова О.В. Современные тентовые сооружения: конструкции и форма: монография. Москва: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. 205 с.
3. Monticelli C., Zanelli A., Campioli A. Life Cycle Assessment of Textile Façades, Beyond the Current Cladding Systems. Proceedings of the TENSINET Symposium, October 2013, С. 467–476.
4. Santa Cruz Astorqui J., Porrás Amores C. Ventilated Facade with Double Chamber and Flow Control Device. Energy and Buildings. Vol. 149 2017. С. 471–482.
5. Maamoun Menna, et al. Multifunctional textile facades for coastal city buildings. Egyptian Journal of Chemistry. Vol. 66. № 12. 2023. С. 403–412.
6. Shaker, Khubab, et al. Effect of fabric structural design on the thermal properties of woven fabrics. Thermal Science 23.5 Part B (2019): 3059–3066.
7. СП 384.1325800.2018. Конструкции строительные тентовые // Правила проектирования. Введен 14.02.2019.

О НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ  
В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАБОТЫ ДРЕНАЖА

В работе любой дренажной системы после окончания строительства принято выделять два периода: начальный и расчетный. В начальный период происходит изменение положения грунтовых вод (ГВ) от начального (существовавшего до начала строительства) до расчетного (проектного). Дренажная система начинает принимать ГВ из толщи грунта; происходит формирование дренажного стока и стабилизация зоны влияния дренажа.

При проектировании предполагается стабилизированная работа дренажной системы: режим движения ГВ – установившийся, зона влияния дренажа сформирована, расход дренажных вод постоянен. Именно такой режим работы принимается за расчетный [1]. Однако, подчеркивается, что при решении ряда задач расчеты дренажных систем необходимо выполнять и для условий неустановившегося режима [1, 2, 3].

Целью данной работы является изучение поведения кривой радиуса влияния при нестационарном режиме.

Авторами выполнен ретроспективный анализ способов определения радиуса кривой депрессии  $R$  и его формирования во времени [4, 5]. Большинство существующих расчетных зависимостей имеют или приводятся к виду:

$$R_t = r + A\sqrt{at}, \quad (1)$$

где  $r$  – приведенный радиус,  $A$  – расчетный коэффициент (от 1,3 до 1,8 у разных авторов),  $a = kh/\mu$  – коэффициент уровнепроводности ( $k$  – коэффициент фильтрации;  $h$  – средняя высота потока при безнапорной фильтрации;  $\mu$  – гравитационная водоотдача грунта).

Авторами было выполнено численное моделирование и сделан вывод, что зависимости данного вида не определяют процесса стабилизации во времени [6].

В [7] рассматривается процесс формирования кривой депрессии однолинейной дрены (рис. 1,а): после начала работы  $r_t$  (зона влияния дренажа) увеличивается. При этом в начальный период времени изменения происходят быстро, а впоследствии скорость изменений уменьшается – процесс стремится к стабилизации (рис. 1,б). Там же подчеркивается, что в теории процесс стабилизации бесконечен. С практической точки зрения за стабилизированное состояние  $R$  следует принимать такое, при котором  $r_t \approx R \approx \text{const}$  (с точностью 5–10%).

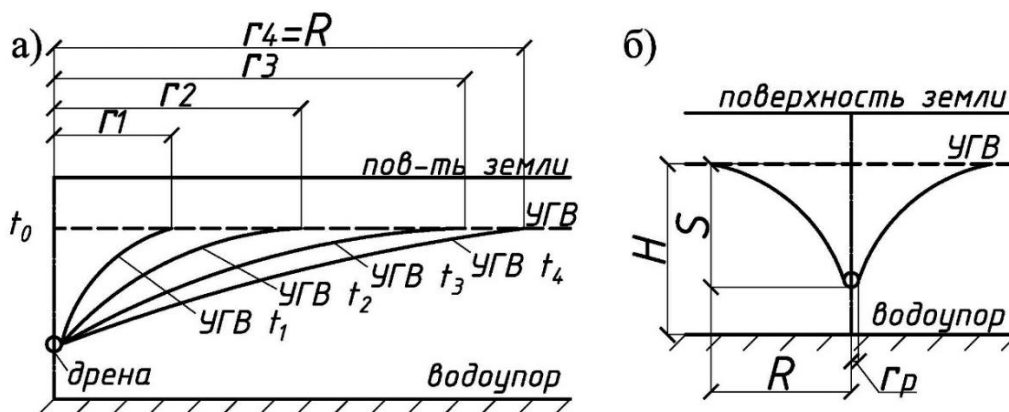


Рис.1. Схема процесса стабилизации (а); расчетная схема установившегося режима движения (б)



Схематизируем реальный процесс схемой последовательной смены стационарных состояний (ПСС), изображенной на рисунке 2. Будем считать, что через некоторые промежутки времени  $\Delta t$  совершаются последовательные дискретные переходы от одного стационарного (установившегося) состояния  $n$  движения грунтовых вод к последующему состоянию  $n+1$ , где  $n = 1, 2, 3$  и т.д.

Модель установившегося состояния движения грунтовых вод при работе однолинейной совершенной дрены примем по [1, с.133, 138]:

$$h_x = H \sqrt{\frac{x}{R}}; \quad (2)$$

$$q_n = \frac{kH^2}{R_n}, \quad (3)$$

где  $H$  – мощность водоносного горизонта,  $R$  – установившийся радиус влияния,  $k$  – коэффициент фильтрации.

При рассмотрении одностороннего притока расход грунтовых вод, поступающих в дрену, составит в момент времени  $n$  и  $n+1$  соответственно:

$$q_n = \frac{kH^2}{2R_n}; \quad (4)$$

$$q_{n+1} = \frac{kH^2}{2R_{n+1}}. \quad (5)$$

Используя понятие гидравлического уклона  $J = H/R$ :

$$q_n = \frac{kHJ_n}{2}; \quad (6)$$

$$q_{n+1} = \frac{kHJ_{n+1}}{2}. \quad (7)$$

Рассмотрим соотношение  $N_r = \frac{J_{n+1}}{J_n} = \frac{q_{n+1}}{q_n}$ , которое определяет степень стабилизации режима грунтовых вод (гидравлического уклона и расходов при увеличении  $R$ ). С учетом того, что  $R_{n+1} = R_n + \Delta R$ , получим:

$$N_r = \frac{R_n}{R_{n+1}} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R_n}}. \quad (8)$$

Если принять, что  $R_n = n\Delta R$  (где за  $\Delta R$  возьмем  $H$ ;  $n = 1, 2, 3$  и т.д.), получим:

$$N_r = 1/(1 + 1/n). \quad (9)$$

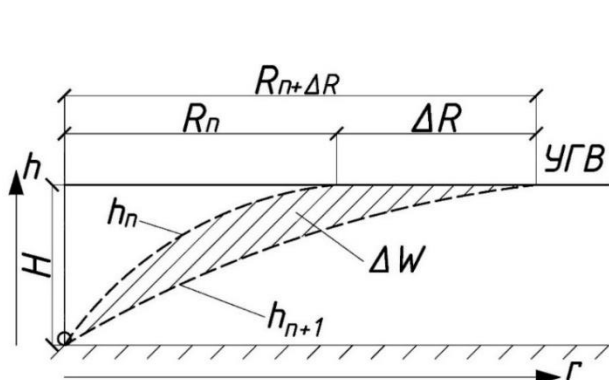


Рис. 2. Схема метода ПССС

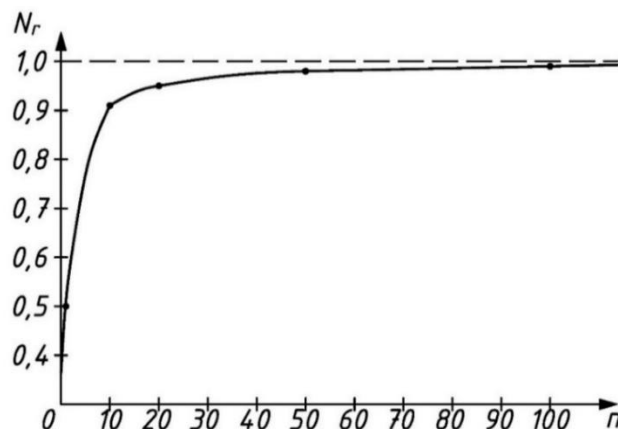


Рис. 3. Зависимость  $N_r$  от  $n$

Графическая зависимость степени стабилизации от  $n$  приведена на рисунке 3. Из него следует, что при увеличении  $R_n$  степень стабилизации  $N_r$  асимптотически стремится к 1,0 (при  $n = 1$ ,  $NR = 0,5$ ;  $n = 10$ ,  $NR = 0,91$ ;  $n = 20$ ,  $NR = 0,95$ ;  $n = 50$ ,  $NR = 0,98$ ;  $n = 100$ ,  $NR = 0,99$ ).

Это является признаком стабилизации режима движения грунтовых вод и бесконечности процесса стабилизации режима движения грунтовых вод.

Если принять, что необходимая степень точности практических инженерных расчетов составляет 5%, то стабилизация режима движения грунтовых вод наступает при  $R = 20H$  ( $n = 20$ ,  $NR = 0,95$ ).

Таким образом, в данной работе проанализировано формирование кривой депрессии дренажной системы в начальный период её работы и предложен новый подход к определению стабилизации движения грунтовых вод.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.
2. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М.: Стройиздат, 1973.
3. СП 103.13330.2012. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Актуализированная редакция СНиП 2.06.14-85.
4. Методические рекомендации по изучению условий формирования и прогнозированию притоков воды в очистные выработки при выемке угольных пластов лавами по падению / АН СССР, Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. Москва, 1981. 42 с.
5. Абрамов, С.К., Скиргелло, О.Б. Осушение шахтных и карьерных полей. М: Недра, 1968. 256 с.
6. Уткин К.Л., Криюлин К.Н. Обзор и анализ методов определения параметров дренажных систем с учетом неустановившегося режима движения грунтовых вод // Вестник Тувинского государственного университета. 2024 (в печати)
7. Криюлин К.Н. Дренажные системы. Благоустройство территорий. СПб.: АНО «Зеленая стрела», 2021. 138 с.

УДК 004.94

В.В. Шарманов, С.М. Лыткин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРИМЕНЕНИЕ 4D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современное строительное производство ставит перед собой всё более сложные с инженерной и организационной точек зрения задачи. Все это приводит к развитию строительных технологий, упрощающих и автоматизирующих рабочий процесс. Одним из самых быстроразвивающихся направлений в строительной отрасли является BIM технология (Building Information Modeling – технология информационного моделирования). Она позволяет создавать полные цифровые модели объектов строительства, несущие в себе данные о потребности строительства в необходимых ресурсах, внешнем виде и функциональной характеристике здания, а также о стадии возведения каждого отдельного элемента с привязкой к временному параметру. Последнее направление называется 4D BIM моделированием [1]. Оно строится по принципу разработки BIM модели объекта строительства с привязкой сроков строительного-монтажных работ к временной шкале [2]. Такой подход позволяет наглядно проследить последовательность выполнения работ, избежать появления возможных коллизий на строительной площадке и экономически выгодно расходовать материальные и трудовые ресурсы [3]. 4D BIM моделирование обеспечивает связность проектной документации со строительными процессами, учитывающий временные затраты на каждый вид работ, а также фактические данные, вносимые в проект.

На сегодняшний день разработано немало программных продуктов для BIM моделирования. Для создания цифровой модели здания и генерального плана строительной площадки наиболее распространёнными являются ArchiCAD, Autodesk Revit и их отечественные аналоги: Renga и NanoCAD. Данные программы позволяют моделировать отдельные элементы, задавая им необходимые атрибуты (геометрические и физические параметры). В свою очередь, для формирования 4D модели и интеграции календарного графика существуют разные программные продукты от разных производителей. Стоит лишь отметить, у Autodesk – Navisworks Manage, у Bentley Systems – SYNCHRO, Nemetschek Allplan Systems – Allplan BCM. К сожалению, отечественные программные продукты пока не могут представить такой широкий функционал, но имеются разработки в виде Larix.Manager и 7D Modeler которые смогут быть конкурентами мировых лидеров [4].

*Цель работы* – обосновать эффективность использования 4D BIM моделирования в организации строительного производства.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью решения проблемы различия данных проектной и рабочей документации, ускорения этапа проектирования и автоматизации процесса создания рабочих чертежей. Также в профессиональном сообществе давно поднимается вопрос о переводе всей рабочей документации в цифровой формат [5]. В случае цифровизации рабочего процесса строительства, роль BIM-технологии станет лидирующей, так как информационное моделирование обеспечит высокую скорость рабочего процесса, стабильную связь между разрабатываемыми разделами, что позволит решать рутинные задачи, такие как составление спецификаций материалов путем автоматического формирования [6]. Важнее всего то, что информационное моделирование позволяет намного детальнее и слаженнее разработать проект, а это приведёт к минимальным отклонениям в процессе возведения здания, что в свою очередь позволит в разы повысить производительность процесса.

Особую роль 4D-моделирование играет в формировании задела в строительстве [7]. Задел в строительстве – это объем работ, который должен быть выполнен к началу или концу планируемого периода (обычно планового года) на переходящих объектах. Задел может измеряться в процентах от общего объема работ, сметной стоимости, стоимости строительно-монтажных работ или физических объемах работ (м<sup>2</sup> жилой или полезной площади).

Задел устанавливает расчётные доли выполненной работы или потраченных средств к определённому моменту времени, а календарный график позволяет фиксировать фактически выполненный процент общего объёма работ к необходимому моменту. Результат слияния этих двух функций значительно упрощает ресурсное и календарное планирование строительства.

Расчёт задела производится в соответствии с нормами, приведёнными в МДС 12-43.2008 [8]. Подбирается максимально приближённый объект-аналог, после чего производится интерполяция или экстраполяция значений стоимости до расчётных значений мощности объекта. Определение показателя задела производится по формуле:

$$\delta_n = (T_n/T_p)n, \quad (1)$$

где  $T_n$  – нормативная продолжительность строительства;  $T_p$  – расчётная продолжительность строительства;  $n$  – порядковый номер расчётного периода (месяц/квартал/год).

Далее выполняется расчёт показателя готовности проекта (по объёмам работ или по капитальным вложениям) по формуле:

$$K_n = K_{nn} + (K_{nn+1} - K_{nn})\alpha_n, \quad (2)$$

где  $K_{nn}$ ,  $K_{nn+1}$  – показатели задела по капитальным вложениям для продолжительности строительства, принятые по норме;  $\alpha_n$  – коэффициент равный дробной части  $\delta_n$ .

Полученные в ходе расчёта задела данные должны быть внесены в информационную модель отдельно для каждой захватки или участка. Таким образом, ответственному за строительство специалисту будет доступны данные об актуальном состоянии объекта

строительства в текущий момент времени [9]. При систематическом внесении данных в информационную модель гораздо легче будет привлекать к организации строительства специалистов из других регионов, снимая необходимость посещения строительной площадки, что в свою очередь уменьшит количество и время задержек рабочего процесса.

Внесение производится последовательно: сначала необходимые реперные точки устанавливаются в календарном графике при помощи программных продуктов (MS Project, 1С:PM Управление проектами). После чего полученный файл прикрепляется к открытой в программе Autodesk Naviswork с расширением NWC (NavisWork Cash) цифровой модели здания, предварительно разбитой по функциональному назначению на рабочие наборы. В конце каждому рабочему набору присваивается срок завершения работ.

В конце работы выполняется формирование сопроводительной документации (пояснительной записки), облегчающей взаимодействие заказчика с разработанной моделью и описывающей расчётные составляющие проекта.

Таким образом, в результате предложенного подхода в использовании 4D-модели с показателями задела строительства в процессе организации строительного производства и отдельных строительного-монтажных работ, открываются возможности по планированию потребности в материальных и финансовых ресурсах не только для всего объекта строительства, а для каждого вида работ.

В целом можно сделать следующие выводы. Использование 4D-моделирования значительно ускоряет и упрощает процесс создания актуального и точного календарного графика строительства. Создание информационной модели объекта строительства позволяет наглядно рассмотреть каждый вид работ при возведении здания в нужный момент времени. Цифровое моделирование обеспечивает связность и единство внесения изменений в проект.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Осадчая Л.А. BIM – как новая технология управления инвестиционно-строительными проектами // Студент-Наука: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 330–332.
2. Нечипорчук Я., Башкова Р. Краткий обзор 4D моделирования в строительстве // Архитектура. Строительство. Образование. – 2020. – № 1. – С. 35–41.
3. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. – 2020. – С. 81–87.
4. Шарманов В.В., Хайбулина О.Р., Панова Ю.Е. Цифровое моделирование системы безопасности в строительстве // Неделя науки ИСИ: сборник материалов всероссийской конференции. В 3 ч., Ч. 3. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С. 104–107.
5. Пименов С. И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4d-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2022. – №. 3. – С. 92–104.
6. Богданова О. В., Докудовская Д. И. Инновационные методы 4D моделирования в организации строительства // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №. 2 (49). – С. 219.
7. А. В. Егоров, К. А. Исаев, В. В. Шарманов. Обзор инновационных систем контроля инвестиционно-строительных проектов // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной НПК. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 156–160.
8. Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений (МДС 12-43.2008). ЗАО «ЦНИИОМТП» – Москва, 2008.
9. Бовтеев С.В. Практика применения 4D-моделирования в строительстве // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. – 2021. – С. 77–84.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
ФИЛЬТРОВ ФОПС ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Проблемы, связанные со сбором, отведением и очисткой поверхностных сточных вод (далее – ПСВ) с селитебных территорий городов крайне актуальны на сегодняшний день. Системы ливневой канализации (далее – СЛК) в городах во время дождей сильной интенсивности не справляются с приёмом ПСВ [1]. Причинами этого являются изменение климата [2] и увеличение площади водонепроницаемых покрытий. Кроме этого, сброс ПСВ из СЛК в водные объекты чаще всего осуществляется без очистки, что неминуемо приводит к негативным последствиям (эвтрофикация водных объектов и др.).

Следует отметить, что ПСВ с селитебных территорий городов часто бывают сильно загрязнены, при этом ПСВ с улично-дорожных сетей (далее – УДС) являются наиболее загрязнёнными из-за примесей от автомобильного транспорта, таких как взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжёлые металлы, синтетические поверхностно-активные вещества и другие [3]. В большинстве городов Российской Федерации СЛК, которые были спроектированы и построены в прошлом веке, в настоящее время нуждаются в реконструкции, включающей не только восстановление и оптимизацию работы существующих СЛК и сооружений на них, но и в обязательном порядке снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Важнейшим мероприятием, направленным на снижение негативного воздействия на окружающую среду, является локальная очистка поступающих в СЛК ПСВ перед их сбросом в водные объекты. Должная очистка ПСВ с УДС позволит минимизировать плату за негативное воздействие на окружающую среду и объём штрафов, предусмотренных за нарушения в области экологии и природопользования. Оборудование для локальной очистки ПСВ должно иметь оптимальную производительность, обеспечивать необходимое качество очистки ПСВ, а также быть простым и удобным в эксплуатации и обслуживании.

*Цель работы* – формирование комплексного подхода к процессу реконструкции СЛК с применением локальных очистных сооружений (далее – ЛОС) на основе фильтров ФОПС.

Объект исследования расположен в городе Комсомольске-на-Амуре (Дальний Восток). Город относится к Амуро-Уссурийскому климатическому району, входящему в Тихоокеанскую муссонную область умеренной зоны. Его климат формируется под действием океанических и континентальных факторов и характеризуется тёплым и влажным летним периодом и умеренно суровой малоснежной зимой. Состояние СЛК в Комсомольске-на-Амуре с точки зрения воздействия на окружающую среду можно охарактеризовать как неудовлетворительное, поскольку сброс ПСВ осуществляется в реку Амур без очистки.

Для расчётов была выбрана часть УДС в зоне жилой застройки в Центральном районе города Комсомольска-на-Амуре, а именно: участки проспекта Мира и Октябрьского проспекта между улицей Аллея Труда и Речным вокзалом. Выбранный участок УДС имеет водонепроницаемое (асфальтобетонное) покрытие и уклон в сторону реки Амур. Общая протяжённостью УДС составила около 2400 м, общая площадь водосборных поверхностей 3,64 га. Суточный объём ПСВ, который должен собираться и полностью отводиться на очистку с выбранного участка УДС, был рассчитан в соответствии с [4] и составил 310,88 м<sup>3</sup>.

Состав ПСВ с территории рассматриваемого объекта и эффективность их очистки фильтрами ФОПС® (необходимы для выбора схемы очистки и для расчёта платы за негативное воздействие на окружающую среду), в связи с отсутствием фактических данных, был принят на основании данных объекта-аналога в городе Санкт-Петербурге [5, 6].

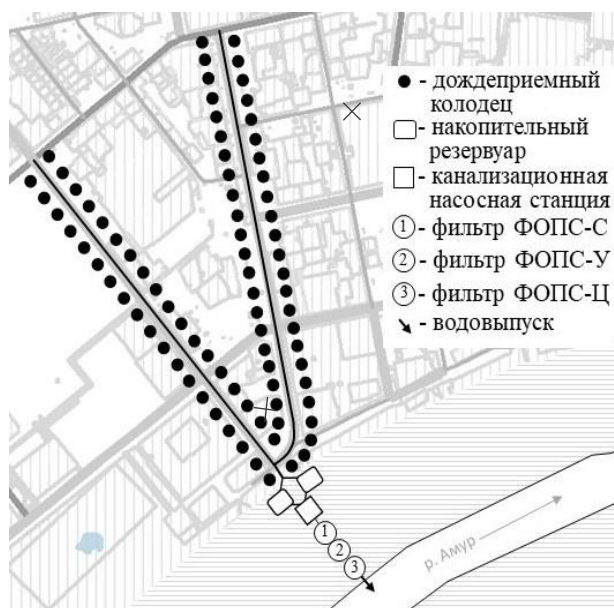


Рис. 1

Условная схема СЛК для рассматриваемого участка УДС после его реконструкции, проведённой с учётом изложенных в работе предложений, представлена на рис. 1.

В качестве наиболее подходящего варианта глубокой комплексной очистки всего объёма поступающих в СЛК ПСВ (до нормативов ПДК загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, утверждённых приказом [7]) выбрано применение ЛОС накопительного типа. По соответствующей методике [4] была определена расчётная производительность ЛОС, необходимого на выбранном участке УДС, которая составила 3,93 л/с. Предложено использовать ЛОС на основе фильтров ФОПС, так как они широко применяются для очистки ПСВ и позволяют осуществлять их очистку до вышеупомянутых нормативов ПДК загрязняющих веществ [8].

В состав предложенного ЛОС входят: две аккумулирующие ёмкости, объёмом 200 м<sup>3</sup> каждая (было определено согласно указаниям [4]), канализационная насосная станция и трёхкаскадная комбинированная система очистки на основе последовательно установленных в типовые канализационные колодцы внутренним диаметром 2,0 м фильтров ФОПС-С-2,0-1,8 (фильтр-сепаратор), ФОПС-У-2,0-1,8 (фильтр угольный) и ФОПС-Ц-2,0-1,8 (фильтр цеолитовый), необходимость применения которых обусловлена составом ПСВ.

Для сбора ПСВ с выбранного участка УДС предложено использовать дождеприёмные канализационные колодцы внутренним диаметром 1,0 м из типовых сборных железобетонных элементов. Необходимое количество колодцев было определено в соответствии с [4] и составило 82 штуки (44 шт. на проспекте Мира и 38 шт. на Октябрьском проспекте). В каждом дождеприёмном колодце предложено установить фильтр-корзину ФОПС-К-0,58 в целях предотвращения попадания мусора в СЛК и исключения возможности подтопления территории вокруг колодцев, а также обустроить байпас (внутри колодцев в соответствии с [8]) для регулирования расхода поступающих в колодцы ПСВ (при избыточном расходе их часть будет отводиться через байпас, минуя фильтр ФОПС-К-0,58).

Таблица 1

Показатель	Плата за негативное воздействие на окружающую среду, руб.	
	без использования ЛОС	с ЛОС на основе фильтров ФОПС
Взвешенные вещества	3 737 000	71 000
Нефтепродукты	820 000	1 000
АСПАВ	8 000	500
Железо	153 000	4 500
Марганец	288 000	19 000
Алюминий	57 000	9 000
Цинк	224 000	0
Итого:	5 287 000	105 000

Для предварительной оценки экономической целесообразности применения ЛОС на основе фильтров ФОПС для очистки ПСВ с выбранного участка УДС был выполнен расчёт платы за негативное воздействие на окружающую среду согласно [9], результаты которого приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что плата за негативное воздействие на окружающую среду при осуществлении мероприятий по очистке ПСВ снизилась в 50 раз.

Таким образом, в работе выявлена необходимость проведения реконструкции СЛК на рассматриваемом участке УДС в городе Комсомольске-на-Амуре. Произведён расчёт суточного объёма ПСВ, отводимого с данного участка на очистку. Предложена комплексная система очистки ПСВ, включающая в себя два этапа: механическую очистку по месту сбора ПСВ и глубокую их доочистку на выходе из сети (перед сбросом в реку Амур). Экономия за счёт снижения платы за негативное воздействие на окружающую среду составила более чем 5 млн рублей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сиваев С.Б., Абдуллаев А.М., Смирнов О.О., Залян Э.С., Андреева Е.С., Летуновский А.В., Савкин Б.Б., Воловик Ю.А., Шилова Н.В. Ливневая канализация в современном городе. От тарификации до инфильтрации. М.: Издат. дом Высшей школы экономики, 2023. 120 с.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). М.: РОСГИДРОМЕТ, 2023. 104 с.
3. Винокуров К.И., Крестьянинова А.Ю. Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах. Экология и строительство. 2019. № 4. С. 42–52.
4. СП 32.13330.2018. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. MINSTROYRF.GOV.RU: официальный сайт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/df7/SP-32.13330.2018.pdf> (дата обращения: 28.10.2023).
5. Ватин Н.И., Греков М.А., Леонов Л.В., Пробирский М.Д., Рублевская О.Н., Чечевичкин А.В. Результаты тестовой эксплуатации фильтра ФОПС® для очистки ливневого стока с селитебной территории Санкт-Петербурга. Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 1. С. 58–65.
6. Греков М.А., Елагин С.В., Клоков А.И., Леонов Л.В., Тряскин М.А., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Опыт всесезонной эксплуатации фильтра ФОПС® с природным цеолитом при очистке поверхностного стока с техногенно нагруженной территории. Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 1. С. 44–51.
7. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552. PRAVO.GOV.RU: официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006?ysclid=ltfym5w52o112069661> (дата обращения: 21.12.2024).
8. Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. СПб.: Любавич, 2017. 176 с.
9. Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации: Постановление правительства Российской Федерации от 31 мая 2023 года № 881 // PRAVO.GOV.RU: официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202305310071?Ysclid=lsvk2tn32g815740750&index=1> (дата обращения: 12.12.2023).

«ЗЕЛЕНЫЙ КОРИДОР» КАК ЭЛЕМЕНТ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ  
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЛОЯН (КНР)

В настоящее время с экономическим развитием городов в Китае повысились требования к качеству и благоустройству городской среды. Городские жители могут испытывать потребность в отдыхе на природе, свежем воздухе, чистоте, изоляции от шума, эстетичных видах и прочих элементах благоустроенной среды. Одним из актуальных инженерных решений для повышения комфорта городской среды, вызывающим интерес у проектировщиков и исследователей, является обустройство так называемых «зеленых путей» (от англ. greenway) или «зеленых коридоров» – линейных объектов городской территории в виде открытых общественных пространств, локализованных, как правило, вдоль дорог различного назначения. Кроме транзитного функционала, эти объекты обеспечивают рекреационные цели, такие как отдых, пешие прогулки, особый микроклимат и прочее.

*Цель работы* заключается в изучении городских зеленых коридоров как элемента комфортной городской среды. В задачи работы входит анализ требований к городским зеленым коридорам, изучение опыта уже функционирующих зеленых коридоров, разработка рекомендаций по обустройству зеленого коридора конкретного жилого района в китайском городе Лоян.

В 2016 году в Китае было официально принято понятие зеленого коридора как элемента градостроительства. Понятие и требования к объекту утверждены в «Руководстве по планированию и проектированию зеленых коридоров» [1]: это коридор, опирающийся на элементы природного ландшафта и являющийся основой для связи городских и сельских мест отдыха, досуга и других зеленых открытых пространств, где основное внимание уделяется отдыху и фитнесу, а также функциям экотуризма для населения, миграции животных.

Проектирование городского зеленого коридора основано на многофункциональности ландшафта, требованиях комплексного планирования, чтобы в полной мере реализовать транспортные, экологические, культурные, туристические и другие функции. Конкретный проект определяется идеями: рационального использования пространства, повышения коэффициента использования территории, интеграции различных ресурсов на участке, улучшения окружающей среды, соединения ландшафтных узлов, создания взаимосвязанных ландшафтных линий для удовлетворения потребностей различных групп населения [2].

Проблема многих современных городов заключается в том, что высокие темпы урбанизации не уделяют ресурсов и должного внимания взаимоотношениям человека и природы. Городская территория плотно застраивается массивными жилыми зданиями и сооружениями, запечатывается различными видами дорожных одежд и покрытий для площадок. Количество зеленых насаждений зачастую уменьшается в пользу застройки. В связи с этим и исторические места постепенно приходят в упадок, так что трудно становится поддерживать традиции и духовные потребности городских жителей; также уменьшается разнообразие городской флоры и фауны. В целом снижается качество окружающей среды, и от этого страдает здоровье городских жителей, появляется понятие «городских болезней» [3], обусловленных стрессом, шумом, загрязненным воздухом и т.п.

Решением таких проблем является формирование особой городской зеленой инфраструктуры, включающей строительство сети городских зеленых коридоров, интегрирующих все виды природных ландшафтов и культурных ресурсов, сохраняющих историческую среду, воссоздающую историческую память местности, дающую потенциал для здорового развития города, ухода от однообразия, уменьшение фрагментации ландшафта и в



то же время обеспечивающей среду для отдыха и расслабления, безопасное и комфортное новое пространство для жизни в городе.

Объектом исследования в данной работе является территория китайского города Лоян. Лоян – город уровня префектуры, расположен в западной части провинции Хэнань, на северном и южном берегах среднего и нижнего течения Желтой реки. Имея более чем 4000-летнюю историю, город Лоян является одним из мест зарождения китайской цивилизации, восточной отправной точкой Шелкового пути, центром Большого канала династий Суй и Тан, а также столицей тринадцати сменявших друг друга династий в истории. Применение городских зеленых коридоров является для этого города наиболее подходящим [4]. На рис. 1 показаны примеры применения городских зеленых коридоров в городе Лояне.



Рис. 1. Городские зеленые коридоры в г. Лоян (фотографии Лю Имэн)

Лоян имеет особое географическое положение, и ось реки Ло является главным естественным экологическим коридором города, который пересекает его центральную часть и обуславливает природную среду всего района. Будучи естественным зеленым коридором, она не только увеличивает разнообразие пространственного ландшафта, биологических и других компонентов местности, но и в определенной степени смягчает давление городского климата и других аспектов [5]. На рис. 1 фотографии 1 и 2 показывают виды по оси движения вдоль реки Ло. Рекреационные зеленые пути (фото 3 и 4 на рис. 1), расположенные между жилыми районами, фитнес-центрами, парками и другими общественными местами, позволяют жителям больше гулять.

Тем не менее, не все городские районы в г. Лоян имеют природные факторы, способствующие формированию городского зеленого коридора. Изучение ситуации позволило выделить район Старой городской дороги. На рис. 2 показан вид на исторические памятники «Руины Дин Дин Мен» (рис. 2,А) и «Ботанический сад руин города Суй Тан» (рис. 2,В). В настоящее время между ними существует только городская улица, не отвечающая современным понятиям о благоустройстве и комфорте. В работе предлагается обустройство этой локации городским зеленым коридором, который свяжет в пространстве эти два важных исторических узла города.

Обустройство городского зеленого коридора в этом историческом районе повысит комфортность для жителей и обеспечит наилучшие впечатления для туристов. В общей планировке зеленый коридор «Зеленый путь наследия» проектируется таким образом, чтобы соединить районы этих двух исторических памятников.



Рис. 2. Исторических памятники города Лоян и локация зеленого коридора (фотографии Лю Имэн)

*Выводы.* В работе рассмотрен современный элемент градостроительной инфраструктуры – городской зеленый коридор, дано его понятие и основной функционал. На примере г. Лоян показаны результаты обследования городских зеленых коридоров. Показана необходимость обустройства нового зеленого коридора в историческом районе города. Развитие зеленых путей – это часть городского планирования, которую нельзя игнорировать, которая не только связана с потребностями городских жителей в комфорте и оказывает важное влияние на развитие города.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Министерство жилищного строительства и городского развития сельских районов. Руководство по планированию и проектированию зеленых путей. ([2016] № 221), 2016. [кит.].
2. Сунь В. и др. Состояние исследований и тенденции развития планирования сети городских зеленых путей / Современное садоводство, 2022(18): 155–156,159. [кит.].
3. Руан Хуаншэн Исследование теории и метода планирования маршрутов городских зеленых дорог в Аньцине/ Хэфэй: Аньхойский сельскохозяйственный университет, 2010 [кит.].
4. Ван Цзюнь Исследование ландшафтного планирования и дизайна композитного зеленого пути / Сучжоу: Университет Сучжоу, 2020 [кит.].
5. Ван Мэнгей, У Боцин. Характеристики пространственного распределения нематериального культурного наследия в городе Лоян / Исследование земли и природных ресурсов, 2023(1).75–78. [кит.].

УДК 628.4

К.Ю. Зубкова, Е.Ю. Негуляева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ С ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫМИ ЗОНАМИ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ)

Ежегодно на берегах Байкала накапливаются значительные объемы мусора, однако для защиты озера от этого вида антропогенной нагрузки предпринимается недостаточно усилий. Согласно территориальной схеме обращения с отходами Республики Бурятия, приоритетами в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) являются создание эффективной системы обращения с отходами, доступность услуг по обращению с ТКО, развитие инфраструктуры по раздельному сбору, обработке, утилизации, обезвреживанию и экологически безопасному размещению отходов [1].

Цель данной работы: анализ организации сбора ТКО на местах их образования для Сухинского сельского поселения Республики Бурятия. Задачи работы: анализ территориальной схемы обращения с отходами Республики Бурятия; практическое обследование места сбора отходов в туристско-рекреационной зоне Сухинского сельского поселения; расчет числа урн, контейнеров для мест массового скопления туристов и количества производимых ТКО.

Сухинское сельское поселение располагается на восточном берегу озера Байкал и является территорией с высокой степенью сохранности естественных ландшафтов, включающих природные и археологические памятники, чем привлекает туристов, поток которых увеличивается с каждым годом. Однако поселение не имеет достаточного развития экономической и социальной инфраструктуры.

В сельских поселениях, отдаленных от административного центра республики, общая структура санитарной очистки территории следующая: отходы от жилого фонда и общественных предприятий накапливаются в дворовых мусоросборниках, по мере накопления местные жители вывозят мусор на местную стихийную свалку. В случае Сухинского сельского поселения местная свалка располагается всего в 1 км к юго-западу от села. Раздельный сбор твердых коммунальных отходов на территории населенных пунктов не организован [2].

Причинами, по которым прибрежные населенные пункты республики не охвачены организованным сбором ТКО, являются удаленность от объектов обработки и переработки отходов, отсутствие местных дорог или сезонность их эксплуатации, малая численность населения в поселениях, отсутствие финансовых средств на обустройство мест накопления отходов [3].

Обследование, приведенное в рамках данной работы, показало, что в летнее время на свалке вблизи Сухинского поселения наблюдается горение, дорога при въезде захламлена отходами. Также на свалке постоянно пасется местный крупный рогатый скот и кормятся чайки. Уборка мест общего пользования в селе производится вручную, так как средствами для механической уборки администрация поселения не располагает. Важно отметить, что рядом с местной свалкой расположена мусороперегрузочная станция, построенная еще в 2015 году в рамках реализации Федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации», но станция до сих пор не введена в эксплуатацию.

Сбор ТКО на местах их образования – это важный элемент системы обращения с отходами, который определяет экологическую безопасность данной системы в целом [4]. В Сухинском поселении непосредственно на побережье Байкала располагается одна мусорная площадка с четырьмя контейнерами, которая представлена на рис. 1. Данная контейнерная площадка не соответствует основным гигиеническим требованиям к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления [5]: отсутствует навес над мусорными баками для ограничения доступа местного крупного рогатого скота и птиц, а также для защиты отходов от частых и сильных порывов байкальских ветров, вследствие чего присутствует замусоренность и неприятные запахи на ближайшей территории; кроме того, наблюдается загрязненность, повреждения контейнеров и ограждения, а также нерегулярность графика вывоза отходов с территории.



Рис. 1. Площадка для сбора отходов на побережье Байкала в Сухинском поселении

Согласно санитарным требованиям к содержанию территорий городских и сельских поселений [5] на пляжах необходимо размещать урны из расчета не менее одной урны на 1600 м<sup>2</sup> территории пляжа, на расстоянии не более 40 м друг от друга и не менее 10 м от уреза воды. В Сухинском поселении площадь пляжа, используемая туристами, составляет примерно 5,8 га, следовательно, необходимо размещение 37 урн на протяжении всей территории пляжа.

Также накопление ТКО на пляже осуществляется с помощью контейнеров на контейнерных площадках, на каждые 4000 кв.м. площади пляжа должен устанавливаться один контейнер, расстояние от контейнерной площадки до уреза воды должно составлять не менее 50 м [5]. Таким образом, на территории Сухинского пляжа необходимо расположить 15 контейнеров с соблюдением основных гигиенических требований к размещению отходов производства и потребления, и важно предусмотреть, чтобы урны и площадки для сбора ТКО эстетически вписывались в окружающий ландшафт. Учитывая, что отходы в туристско-рекреационных зонах представляют собой потенциальное вторичное сырье, целесообразно также предусмотреть контейнеры для отдельного сбора отходов.

Неправильная организация системы сбора и вывоза отходов на территории населенного пункта может заметно повлиять на качество среды, ее безопасность и комфортность. Процессы гниения пищевых компонентов, захламление территории легкими фракциями отходов, риск возгорания отходов, разнос опасной пыли, неприятного запаха и прочие факторы должны быть исключены при организации экологически безопасной системы сбора твердых коммунальных отходов.

Также, для территорий с большим количеством туристско-рекреационных зон при расчете количества образующихся отходов важно включать в территориальную схему обращения с отходами места для размещения туристов: гостевые дома, дома отдыха, туристические базы, гостиницы и т.д. Действующая на сегодняшний день территориальная схема обращения с отходами Республики Бурятия 2018 г. учитывает только отходы, образованные жилым фондом местных жителей, рассчитанные по устаревшим нормативам.

Рассчитаем количество производимых отходов для Сухинского сельского поселения как от местного населения за год, так и от туристического потока за летний сезон. Количество образующихся ТКО жилым фондом местных жителей рассчитывается исходя из численности населения поселения и действующего норматива накопления ТКО на территории Республики Бурятия для индивидуальных жилых домов, составляющего 1,99 м<sup>3</sup>/год (230,68 кг/год) [6]. Сводный результат расчета приведен в таблице 1.

В рассматриваемом регионе туристическим сезоном является период с июня по сентябрь (122 дня). Количество отходов от туристического потока за сезон рассчитывается исходя из максимального (в сутки) количества посетителей гостевых домов и туристических баз со средней продолжительностью пребывания одного туриста 5 дней для гостевых домов и 7 дней для турбаз и действующего норматива накопления ТКО на территории Республики Бурятия для гостевых домов 0,16 м<sup>3</sup>/мес. (19,05 кг/мес.) [6]. Сводный результат расчета приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Количество ТКО, производимых жителями в Сухинском сельском поселении

Муниципальное образование	Численность населения, чел.	Количество производимых отходов	
		м <sup>3</sup>	т
Сухинское сельское поселение	552	1098,48	127,34

Таблица 3 – Количество ТКО, производимых туристами в Сухинском сельском поселении

Размещение туристов	Количество смен туристов	Макс. количество туристов		Количество производимых отходов	
		за день	за сезон	м <sup>3</sup>	т
Гостевые дома	25	643	16075	2638,98	306,23
Туристические базы	18	386	6948	1140,63	132,36

Таким образом, количество производимых твердых коммунальных отходов на территории Сухинского сельского поселения за год равняется 4878,09 м<sup>3</sup> (565,93 т).

Выполненный расчет количества производимых ТКО позволяет более точно определить, какая инфраструктура по сбору, обработке, утилизации, обезвреживанию ТКО необходима сельскому поселению, хватит ли мощности существующей мусороперегрузочной станции при вводе ее в эксплуатацию, и в каком объеме необходимо привлечение государственного финансирования для создания эффективной системы обращения с отходами для территорий с туристско-рекреационными зонами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Приказ «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами Республики Бурятия» от 29.04.2020 №159-ПР. Официальный сайт Минприроды РБ, URL: <https://egov-buryatia.ru/mpr/tsoo.php>.
2. Нимаева И.В. Современное состояние и перспективы совершенствования способов управления отходами в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории (на примере сельского поселения "Сухинское") // Вестник БГСХА В.Р. Филиппова. – 2013. – № 2(31). – С. 62–67.
3. Зубкова К.Ю., Негуляева Е.Ю. Анализ системы обращения с твердыми коммунальными отходами на байкальской природной территории (Республика Бурятия) // Экологическая неделя БРУ – СПБПУ : Сборник материалов научно-практической конференции с международным участием, Могилев, 10–13 октября 2023 года. – Могилев: Политех-Пресс, С. 55–61.
4. Негуляева Е.Ю., Маева Е.Е. Сбор твердых коммунальных отходов как фактор обеспечения экологической безопасности населенных мест // в сборнике: Дальневосточная весна – 2019. материалы 17-й Международной НПК по проблемам экологии и безопасности. С. 55–57.
5. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 05.02.2021.
6. Постановление Правительства Республики Бурятия №502 «Об утверждении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Республики Бурятия» от 16.10.2017. Официальный Интернет-портал Правительства Республики Бурятия [www.egov-buryatia.ru](http://www.egov-buryatia.ru), 19.10.2017.

УДК 69.059.643

В.Н. Шпильная  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРИ СНОСЕ АВАРИЙНЫХ ДОМОВ

На сегодняшний день проблема обезвреживания и утилизации отходов – одна из основных современных экологических проблем, ввиду огромных объемов их образования, которые ведут к большому экологическому, социальному и экономическому ущербу. Строительная отрасль является одним из мощнейших антропогенных факторов воздействия на окружающую среду, которое происходит на всех этапах строительной деятельности, начиная от добычи материалов и кончая утилизацией строительных отходов при сооружении, ремонте и сносе зданий и других объектов [1].

По статистике Росприроднадзора, в России за 2020 г. образовалось свыше 71 млн т строительного мусора. На переработку направлено лишь 22 % этого объема – около 15,5 млн т. По данным [2] ежегодно в странах Евросоюза образуется около 1 млрд т отходов строительства и сноса, что составляет 1/3 от общего объема отходов. Количество переработанных строительных отходов в ведущих европейских странах составляет около 70 %.

Вовлечение строительных отходов в повторное использование позволит сократить использование первичных природных материалов и снизить воздействие на окружающую

среду. Также снижаются затраты на новое строительство, уменьшается нагрузка на полигоны и вероятность образования несанкционированных свалок [3].

Представляет практический интерес повторное использование содержащихся в строительных отходах ценных востребованных материалов (металл, кирпич, бетон, древесина и др.), образующихся при сносе аварийного жилья. Начиная с 1990 года объемы аварийного жилья в нашей стране начали резко возрастать и к середине 2000-х увеличились более чем в три раза. Такой рост связан, прежде всего, с низкими темпами вывода аварийного жилья из эксплуатации, которые отстают от нормативных, а также с недостаточными объемами работ по капитальному ремонту.



Рис. 1. План участка



Рис. 2. Дом № 2

Основную часть аварийного фонда, по данным Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства, составляют постройки 1946–1970 гг., а именно 53,27% и постройки 1971–1995 гг. – 21,17%.

Цель работы состояла в определении количества строительных отходов, образованных при сносе аварийных домов. Объектом исследования был выбран участок городской территории, расположенный в Мурманской области. На нем размещаются четыре однотипных постройки 1964 года, находящихся в аварийном состоянии (рис. 1). В качестве базового варианта для оценки объема строительных отходов выбран дом № 2 (рис. 2). План типового этажа представлен на рис. 3.

Здание пятиэтажное с высотой этажа 2,8 м. Количество парадных – 3. Площадь здания 3244,2 м<sup>2</sup>. Количество квартир – 66 (однокомнатных – 11, двухкомнатных – 49, трехкомнатных – 6). Фундаменты зданий крупноблочные железобетонные; несущие стены – крупноблочные железобетонные; простенки – кирпичные; перегородки гипсолитовые; плиты перекрытий/покрытий пустотные; кровля бесчердачная, мягкая; фасад оштукатуренный.

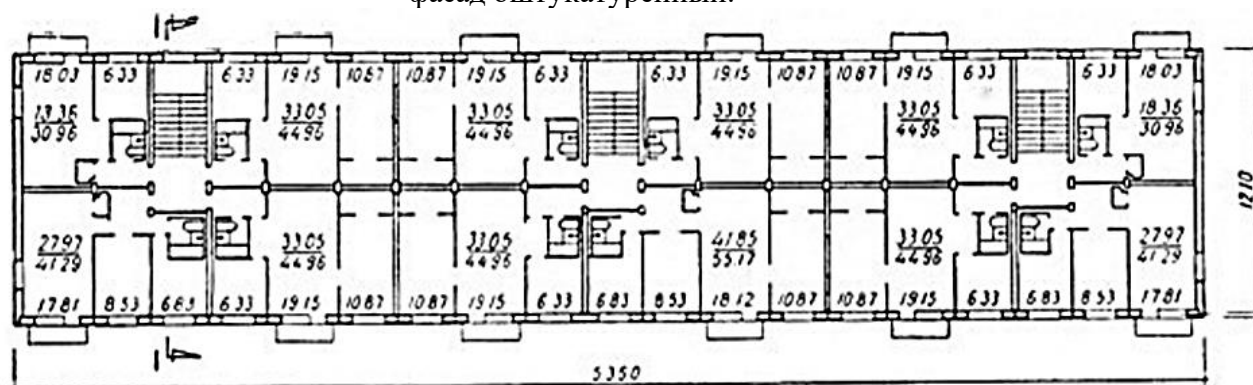


Рис. 3. План типового этажа дома №2

При расчете объемов строительных отходов построек 1960–1970 гг. было выяснено, что отыскание проектных материалов в открытых источниках, необходимых для определения объемов отходов, весьма затруднительно. Поэтому предложена методика расчета ориентировочных объемов строительных отходов на основе укрупненных показателей. Схема проведения расчетов приведена на рис. 4.

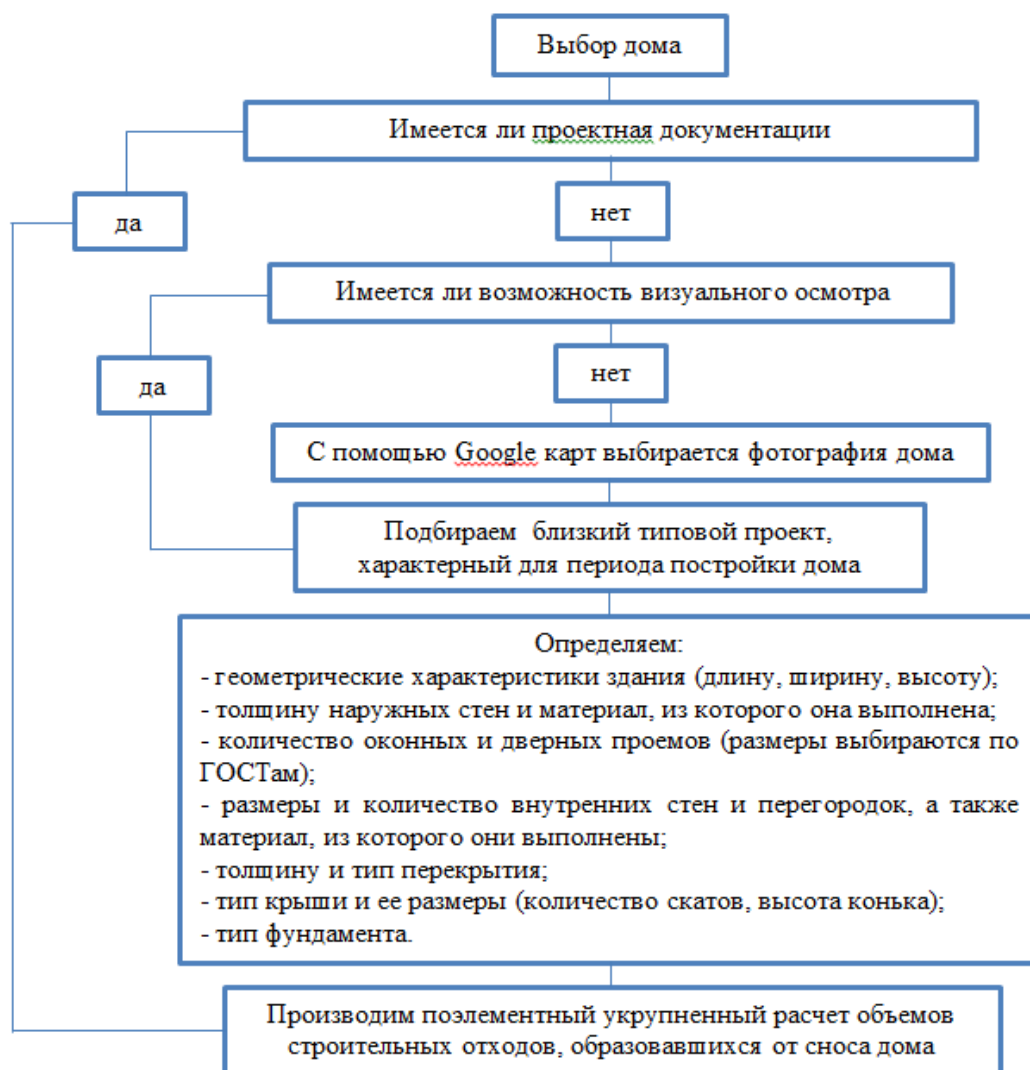


Рис. 4. Определение объемов строительных работ расчетным методом [3–5]

Ниже представлен результат расчета объема строительных отходов и их стоимости при повторном использовании для аварийного дома № 2 (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные показатели строительных отходов при повторном использовании

№ п/п	Наименование отхода	Объем, м <sup>3</sup>	Стоимость за ед.	Стоимость, руб.
1	Бой кирпича	122,1	500 руб./м <sup>3</sup>	61 050
2	Дробленный бетон	1 371,7	1000 руб./ м <sup>3</sup>	1 371 700
3	Битое стекло	1,5	1800 руб./т	2 700
	ИТОГО	1 495,3		1 435 450
	ВСЕГО (для четырех однотипных домов)	5 981,2		5 741 800

Удельный объем строительных отходов составил 0,46 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> общей площади. Для четырех однотипных домов был определен общий объем строительных отходов в размере 5981,2 м<sup>3</sup>, являющихся доступными вторичными строительными ресурсами, а также их предполагаемая стоимость. Так, например, бой кирпича можно использовать для подсыпки покрытия временных грунтовых дорог, а также при проведении работ нулевого цикла [4]. Из дробленого бетона можно получить щебень любой фракции. Конструкции из древесины могут перерабатываться и измельчаться в стружку, опилки и использоваться в качестве сырья для

производства древесностружечных плит, теплоизоляционных и звукоизоляционных плит или для получения тепловой энергии [4]. Из битого стекла может быть изготовлена стеклотара, строительные и теплоизоляционные материалы (пеностекло, бетон и др.), материалы для дорожного строительства (гласасфальт, герметизирующий материал), абразивные материалы, наполнители для красок, пластмасс и стекловолокно.

Современная концепция экономики замкнутого цикла требует эффективного обращения с отходами. При сносе следует разделять образовавшиеся строительные отходы по типам для дальнейшего использования. Это позволит получить наибольшую выгоду при продаже вторичного сырья и частично компенсировать затраты, связанные со сносом аварийного дома [5].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Олейник С.П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» 2016, Том 3, №2 URL: <https://resources.today/PDF/02RRO216.pdf>
2. Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D) Waste Management – JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24918 EN – 2011. – P. 67. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/waste-Guide-to-LCTLCA-for-C-D-waste-management-Final-online.pdf> (accessed: 27.02.2023).
3. Чулков В.О., Назиров Б.Э. Рециклинг отходов строительства и сноса при реновации территорий и дорожных покрытий крупных городов // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2018 №4.
4. Ключев В.Д. Ресурсосберегающие технологии переработки отходов строительных материалов для обеспечения экологической безопасности и вторичного их использования / Бирюков Ю.А., Панаева В.В // Журнал «Инноватика и экспертиза» Выпуск 2 (30), 2020.
5. Лунев Г.Г., Прохоцкий, Ю.М. Рециклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы. ЭКО (Экономика и организация промышленного производства), 20204 (550), с. 166–192.

УДК 712.4

Е.М. Скуртул, М.П. Шарагина, Ю.А. Леднова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРОБЛЕМА ОЗЕЛЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Урбанизация, являясь комплексным процессом, стала глобальной тенденцией с 1950-х годов, начавшись в Европе и Северной Америке. Стремительный рост роли городов наиболее заметен, если обратиться к статистическим данным, полученным за столетия: в начале 19 века в городах мира проживало всего 3 % населения Земли, тогда как в 2019 г. этот показатель составил более 70 % [1]. По данным, предоставленным в ходе Всероссийской переписи населения в 2021 году, в городах России проживает 74,8 % населения страны, что больше на 1,3 % по сравнению с 2010 годом.

Увеличение численности урбанизированных территорий зачастую связано с миграцией из сельских районов в городские, а также с приезжими из других стран, особенно в мегаполисы, такие как Москва и Санкт-Петербург. Все это способствует развитию строительной отрасли, увеличению спроса на жилье в городах и интенсификации застройки территорий с целью покрытия жилищной потребности. Городская застройка занимает как новые районы, расширяя площадь урбанизированной территории, так и старые, с сохранением размера существующего города. Уплотнительная застройка вытесняет зеленые зоны, предоставлявшие места отдыха людям и местообитания городской флоре и фауне. Сокращение площади озеленения ведет к ухудшению состояния окружающей среды городов, что приводит к снижению качества жизни, ухудшению здоровья, психологического и физиологического



комфорта их жителей. По этой причине проблема зеленых насаждений в условиях мегаполиса становится актуальнее с каждым днем.

*Цель работы* – выявление решений по реализации дополнительного озеленения городского пространства.

В условиях городской среды зеленые насаждения оказывают благоприятное влияние на микроклимат: регулируют радиационный баланс территории, снижая интенсивность прямой солнечной радиации [2]. В жаркий период на ухудшение теплоощущения человека значительно влияют поверхности стен и крыш зданий, покрытия дорог и тротуаров, которые длительное время излучают тепло, тем самым повышая температуру воздуха, тогда как растения оказывают комплексное положительное воздействие, в том числе поглощая значительное количество солнечного света в результате своей жизнедеятельности.

Понятие «альbedo» применимо для оценки отражательной способности поверхности: чем больше значение данной величины, тем меньше поверхность нагревается, отражая радиационную энергию. По формуле (1) определяется зависимость радиационного баланса от значения коэффициента альbedo:

$$B = Q(1 - A_k) - E_{эф}, \quad (1)$$

где  $B$  – радиационный баланс, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q$  – суммарная солнечная радиация, Вт/м<sup>2</sup>;  $A_k$  – альbedo подстилающей поверхности, % (или доли единицы);  $E_{эф}$  – эффективное излучение подстилающей поверхности, Вт/м<sup>2</sup>.

В таблице 1 приведены значения альbedo для некоторых покрытий и объектов, в том числе зеленых насаждений [3]. Эти данные подтверждают необходимость в увеличении количества зеленых зон с целью улучшения качества окружающей среды для жителей урбанизированных территорий. При этом в условиях современного городского строительства возникает проблема, связанная с отсутствием или недостаточным количеством свободных участков, которые используются или могли быть использованы под элементы озеленения. Таким образом, возникает потребность в методах дополнительного озеленения, которые включают в себя интеграцию растений и зданий [4].

Таблица 1 – Альbedo различных поверхностей

Вид поверхности	Альbedo, доля единицы
Битум, гравий	0,03–0,18
Кирпич/камень	0,03–0,18
Асфальт	0,05–0,20
Газон	0,25–0,30
Листва деревьев	0,15–0,18

В условиях плотной городской застройки чаще всего используются следующие технологии искусственного озеленения:

1. Зеленый фасад – предполагает высадку растений непосредственно вблизи здания, когда зеленые насаждения используют стены как опору для своего развития и распространения, со временем затягивая собой весь фасад здания, что используется в различных городах России (например, г. Калининград, на ул. Итальянской в Санкт-Петербурге и др.) и странах (например, г. Стокгольм, Швеция, г. Будапешт, Венгрия и др.). Также могут использоваться специальные конструкции, которые крепятся на фасад, с дальнейшей высадкой растений [8]. Кроме того, данный подход можно использовать внутри помещения, создавая зеленые стены.

2. Зеленая кровля – метод, при котором полностью или частично засаживают живыми растениями кровлю или террасу с использованием специальной конструкции.

3. Экопарковка – метод по использованию специальных газонных решеток, заявленных в качестве защиты травяного покрова.

4. Крытые ботанические сады – представляют собой пространства, где в крытом объеме воспроизводятся климатические условия и высаживаются растения в соответствии с созданными условиями, а также подбираются специальные технологии, позволяющие наилучшим образом использовать солнечный свет в качестве освещения.

В таблице 2 приведены результаты сравнительного анализа перечисленных методов.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика технологий искусственного озеленения

Метод	Стоимость, руб./м <sup>2</sup>	Специфика	Рекреац. зона
Зеленый фасад – прямое озеленение	от 2 980 [5]	Риск повреждения стен [8]	–
Зеленый фасад – конструкционная система	от 3 970 [5]	Дополнительное техническое и конструкционное решение	–
Зеленая кровля	от 4 400 [6]	Дополнительная нагрузка; снижение срока службы кровельной мембраны [8]	+
Экопарковка	от 1 500 [7]	Загрязнение почвы, в т.ч. токсическими веществами; повреждение ростков травы при наезде автомобиля	–
Крытый ботанический сад	Индивидуально	Каждый проект разрабатывается индивидуально	+

Реализация приведенных выше методов возможна только при учете климатических условий района строительства, подборе растений под соответствующие условия и создании благоприятной среды для их жизнеобеспечения.

Для создания условий, необходимых для жизни и развития растений, следует применять ряд современных технологий в области строительных конструкций и материалов. Например, система ETFE (+TEXLON) совмещает высокую светопрозрачность и возможность переменного затемнения, что позволяет контролировать освещенность помещения [9]; биобетон, являясь новейшим строительным материалом, способен поддерживать рост водорослей и мхов. Кроме того, осуществить сопряжение зеленых насаждений и здания помогают инженерные системы, включающие системы климат-контроля и вентиляции для устройства природы под крышей и ирригационные системы для обеспечения растений необходимым и достаточным количеством воды.

Выращивание растений в непривычных для них условиях требует новых подходов в сфере агрономии. На сегодняшний день изучены и сформированы способы, позволяющие исключить почву при высадке растений:

- аэропоника – выращивание растений без субстратов;
- гидропоника – выращивание растений с использованием воды как субстрата;
- панопоника – выращивание растений с использованием тонкослойного аналога почвы.

Таким образом, в результате анализа были выявлены возможные решения вопросов озеленения в условиях плотной городской застройки в виде методов по интеграции живой природы в конструкции зданий. Проведенное исследование показало, что наиболее предпочтительны подходы по озеленению кровель и созданию крытых ботанических садов, ввиду возможности организации места отдыха населения, в то время как экопарковки, показавшие себя с экономической точки зрения наиболее выгодным вариантом, с практической точки зрения являются наихудшим решением. В случае же устройства зеленых кровель следует учитывать такой недостаток, как повышенный вес конструкции (для сравнения: вес экстенсивной системы составляет 70–150 кг/м<sup>2</sup> в состоянии водонакопления, интенсивной системы – от 300 кг/м<sup>2</sup> [10], в то время как вес утепленной плоской кровли в среднем не превышает 30 кг/м<sup>2</sup>). Необходим комплексный технологический подход в формировании дополнительных зеленых зон, включая новейшие достижения в области строительных, инженерных и агротехнологий.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Агаширинова В.Ю. Урбанизация как сложное комплексное явление. Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2019. №. 8 (42). С. 178–191.
2. Голушко А.В. Роль озеленения в локальном тепловом охлаждении городской инфраструктуры. Модели и методы повышения эффективности инновационных исследований. 2022. С. 162–165.
3. Ким Д.А. Влияние городского острова тепла на микроклимат урбанизированного пространства. Инженерный вестник Дона. 2021. №. 12 (84). С. 435–445.
4. Стрельцов С.В., Толмачёва О.С., Леонова Н.Н. Проблема экологического комфорта в условиях плотной городской застройки. Современные прикладные исследования. 2021. С. 107–113.
5. Perini K., Rosasco P. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems // Building and Environment. 2013. Vol. 70. P. 110–121.
6. Зеленая кровля: [Электронный ресурс]. Москва. URL: <https://hidropro.ru/services/krovelnye-raboty/zelenaya-krovlya>. (Дата обращения: 01.03.2024).
7. Экопарковки (зеленые парковки): [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург. URL: <https://rsk-piter.ru/uslugi/blagoustrojstvo-pridomovojj-territorii/zelenye-avtoparkovki-jekoparkovki> (Дата обращения: 01.03.2024).
8. Lednova Yu.A., Stolyarov O.N., Shilin M.B. Urban development and climate change: textbook. – St.Petersburg : Polytech-Press, 2022. 290 p.
9. Павлова В.А., Кашицына А.А. Зеленые технологии и природа внутри здания. Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №. 3 (48). С. 200–216.
10. Пульга С.А., Карпова Т.С. Зеленые кровли. Материалы секционных заседаний 57-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ. 2017. С. 226–230.

УДК 365.46

М.П. Шарагина, Е.М. Скуртул, Ю.А. Леднова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ПРОБЛЕМЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПОЛЯРЬЯ РОССИИ

На сегодняшний день малое число городов и поселений Заполярья отвечают современным требованиям благоустройства, к чему добавляются проблемы частичного разрушения жилищного фонда и транспортной труднодоступности регионов. Также Заполярье имеет особенность в виде суровых природно-климатических условий. Все это способствует оттоку населения из районов Заполярья в другие места проживания с развитой инфраструктурой [1–2]. Благоустройство территории влияет на качество жизни людей. Грамотная организация дворовых территорий способна повысить психоэмоциональное состояние жителей и гостей Заполярья.

В наше время особенно актуальна данная тема, так как сейчас значительно увеличился туристический поток на Русский Север ввиду уникальности ландшафтов и культуры малых народов. Продуманное облагораживание территории будет способствовать привлечению жителей, что в свою очередь приведет к повышению инвестиционной привлекательности регионов Заполярья и количеству трудовых ресурсов.

*Цель работы* – изучить текущее состояние благоустройства дворовой территории российского Заполярья.

Для достижения поставленной цели были изучены климат и природа Заполярья, проведено социологическое исследование жителей Мурманска, Северодвинска и Норильска по вопросам удовлетворенности состоянием благоустройства дворовых территорий. В работе использованы аналитический, социологический и статистический методы.

Дворовая территория – территория, примыкающая к многоквартирным домам, с расположенными на них элементами благоустройства и объектами для обслуживания и эксплуатации данных домов.

Заполярье (или Арктика) – территория, расположенная за Северным полярным кругом. Заполярье России включает 9 субъектов РФ, четыре из которых полностью входят в Арктику, остальные – частично, согласно указу президента Российской Федерации от 2 мая 2014 года № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» и от 27 июня 2017 г. № 287. Субъекты Заполярья РФ: Мурманская и Архангельская области; республики Карелия, Коми и Саха; Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа. Площадь арктических территорий составляет 4,8 млн км<sup>2</sup>, что составляет 28 % территории страны [3].

Особенностями климатических и природных условий Заполярья являются:

- суровый климат, характеризующийся продолжительной зимой и коротким летом, уязвимостью экосистем к антропогенному воздействию, продолжительным восстановлением почвенного и растительного покрова.
- световой режим, отличающийся малой годовой продолжительностью светового излучения из-за полярной ночи, которая замедляет фотохимические процессы в растениях, к тому же негативно влияет на соматическое и физическое состояния человека [4–5].

В Мурманске наблюдаются сильные ветра, в Норильске и Северодвинске – большие амплитуды среднесуточной температуры воздуха, лето довольно теплое, зима – холодная. Согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98% в Норильске составляет минус 52 °С; в Северодвинске – минус 40 °С; в Мурманске – минус 36 °С. В теплое время года температура воздуха обеспеченностью 0,98% составляет +21 °С в Норильске и Мурманске, +24 °С в Северодвинске.

Природно-климатические условия являются одним из ключевых аспектов, определяющих тип организации благоустройства, а также озеленения. От них зависят экономические факторы, здоровье и безопасность населения.

Для определения степени удовлетворенности жителей Заполярья благоустройством дворовых территорий было проведено социологическое исследование (опрос) среди студентов Заполярных городов. Количество респондентов составило 142 человека. Вопросы из данного опроса приведены ниже.

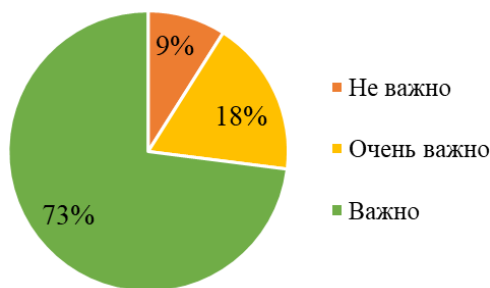


Рис. 1. Определение степени важности благоустройства дворовой территории для населения

- Насколько Вам важно благоустройство дворовой территории?
- Как Вы оцениваете состояние фасадов жилых зданий?
- Оцените уровень озеленения дворовых территорий
- Довольны ли Вы разнообразием растительности во дворе?
- Довольны ли Вы зонированием дворовых территорий?
- Вас устраивает количество парковочных мест на дворовой территории?
- По Вашему мнению, жилые многоквартирные здания доступны для маломобильных групп населения (инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов, люди с детскими колясками и т.п.)?
- Достаточно ли Вам уличного освещения на дворовой территории?

- Оцените состояние автомобильных проездов
  - Оцените состояние тротуаров
  - Оцените состояние игровых, спортивных площадок и площадок отдыха
  - В достаточном ли количестве присутствуют во дворе скамьи и урны?
  - Напишите свои пожелания и предложения по благоустройству дворовой территории.
- Результаты опроса представлены на рис. 1, 2.



Рис. 2. Степень удовлетворенности благоустройством дворовой территории

По результатам исследования можно сделать следующие *выводы*:

1. Для 73 % респондентов благоустройство дворовой территории является важным, для 18 % – очень важным. Таким образом, следует внимательно и разумно подходить к ландшафтному проектированию при облагораживании двора.
2. Выявлены проблемы дворовой территории, такие как недостаточное количество осветительного оборудования, отсутствие мероприятий по доступности зданий для маломобильных групп населения (МГН), слабая организованность дворовой части, непригодное состояние элементов благоустройства, низкий уровень озеленения.
3. Большинство людей хотели бы видеть пешеходные дорожки в местах вытаптывания газонов, двор без машин, спортивные площадки, беседки, площадки для выгула собак, а также расширенные и отремонтированные автомобильные проезды.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Юкиш В.Ф. Сравнение социально-экономических показателей в регионах России с максимальным миграционным приростом и наивысшей миграционной убылью населения / В. Ф. Юкиш // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 11. – С. 245–250.
2. Блынская Т.А. Факторы миграционной убыли населения в Арктическом регионе (на примере Архангельской области) / Т.А. Блынская, К.О. Малинина, А.М. Максимов // Проблемы экономического роста и устойчивого развития территорий: материалы V международной научно-практической конференции. – Вологда : Вологодский научный центр РАН, 2020. – С. 31–34.
3. Арктические регионы России // Инвестиционный портал Арктической зоны России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://as.arctic-russia.ru/useful/?ysclid=lqxuc0fn1b19686490> (11.12.2023).
4. Богданов И.В. Влияние световой аперииодичности в Арктике на психофизическое здоровье молодежи и направления реабилитации / И.В. Богданов, М.В. Соколова // Вестник Медицинского института непрерывного образования. – 2022. – Т. 2, № 2. – С. 22–24.
5. Пора озеленять Арктику. Инновационные газонные технологии для создания травяного покрова различного назначения в условиях Заполярья / Л.А. Иванова, М.В. Слуковская, И.П. Кременецкая, Т.Т. Горбачева. – Апатиты : ФИЦ КНЦ РАН, 2020. – 37 с.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА  
ЗДАНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

В Санкт-Петербурге существует большое количество исторических зданий, имеющих культурную и историческую ценность. Многие здания культурного наследия находятся под охраной Комитета по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП). Обследование этих зданий является необходимым для их сохранения и поддержания безопасности их эксплуатации [1]. В настоящее время высокая этажность строящихся зданий и уплотнительная городская застройка существенно влияют на срок службы зданий культурного наследия. В городе в настоящее время насчитывается более 9 тысяч объектов культурного наследия, вследствие чего возникает необходимость в проведении их регулярных технических обследований и оценке влияния нового строительства на их безотказность [2].

*Целью работы* является определение метода прогнозирования физического износа конструкций здания культурного наследия.

Комплексное обследование технического состояния здания (сооружения) – комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров грунтов основания, строительных конструкций, инженерного обеспечения (оборудования, трубопроводов, электрических сетей и др.), характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта, и включающий в себя обследование технического состояния здания (сооружения), теплотехнических и акустических свойств конструкций, систем инженерного обеспечения объекта, за исключением технологического оборудования [3]. Цель обследования технического состояния здания заключается в определении действительного технического состояния здания и его элементов, получение количественной оценки фактических показателей качества конструкций с учётом изменений, происходящей во времени. В результате оценки технического состояния здания определяется количественная оценка физического износа здания культурного наследия.

Общий физический износ конструкции  $U$  здания [4], вызывающий потерю несущей способности, определяется по формуле (1):

$$U(t) = e^{\lambda(t-T)} - 1, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – показатель интенсивности износа, являющийся комплексным показателем влияния деструктивных факторов;  $T$  – срок приработки – начальный период времени, износ на котором не происходит;  $t$  – текущий момент времени от начала эксплуатации.

Формулу (1) возможно преобразовать для определения фактического срока эксплуатации здания, используя данные о техническом состоянии объектов-аналогов. Критический срок эксплуатации строительной конструкции определяется по формуле (2):

$$t_{\text{кр}} = T + \frac{\ln(U_{\text{кр}} + 1)}{\lambda_0}. \quad (2)$$

Значение интенсивности износа  $\lambda_0$  в момент обследования  $t_{\text{обсл}}$  возможно уточнять по зафиксированному износу  $U_{\text{обсл}}$ . Интенсивность износа  $\lambda_0$  определяется по формуле (3):

$$\lambda_0 = \frac{\ln(U_{\text{обсл}} + 1)}{t_{\text{обсл}} - T}. \quad (3)$$

Для определения показателей физического износа зданий следует проводить регулярные технические обследования здания. Предлагаемая принципиальная схема определения фактического износа здания культурного наследия представлена на рисунке 1.

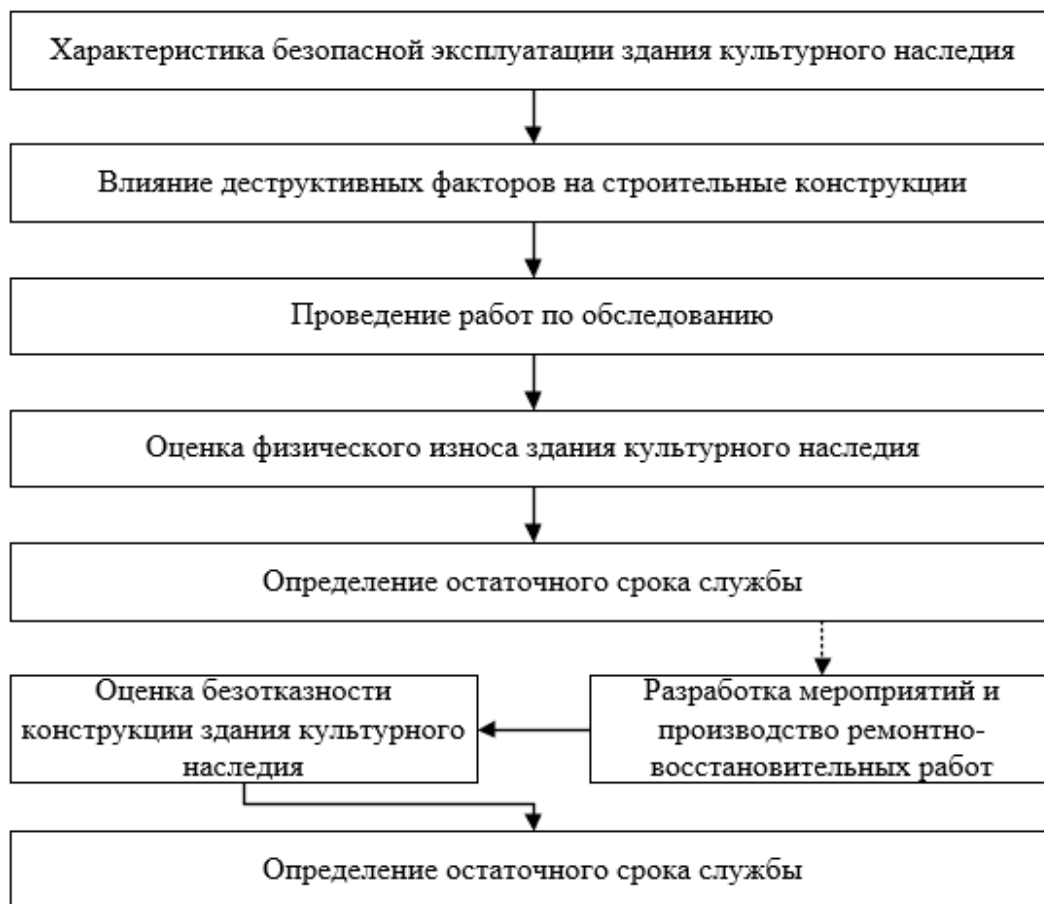


Рис. 1. Принципиальная схема определения фактического износа здания культурного наследия

В целях предупреждения аварийного состояния здания культурного наследия следует учитывать влияние нового строительства возле зданий культурного наследия, производя технические обследования в течение производства строительно-монтажных работ [5].

Таким образом, в работе получен метод определения прогнозируемого физического износа здания, путём расчётов по выше представленным формулам и проведения регулярных технических обследований.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сморгачев А.А. Оценка технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений. Инженерно-строительный журнал. 2012 №3. с. 1–8.
2. Штенгель В.Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Инженерно-строительный журнал. 2010 №4. с. 10–32.
3. Дублин Ю.В. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений: учебное пособие. 2012. URL:<http://elib.spbstu.ru/dl/pwd/2541.pdf>
4. Белых, А. В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки. Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. с. 78–86.
5. Якубсон В.М. Обследование зданий и сооружений: конференция как путь решения проблем. Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. с. 1–4.

## INVESTIGATION ON THE PERFORMANCE OF VARIOUS THERMAL INSULATION MATERIALS AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS

The worldwide energy demand is rapidly increasing due to population and economic growth especially in large emerging countries accounting for 90% of the total energy demand growth in the next fifty years. According to the previous studies, almost 60% of the building's energy consumption is due to the heating and cooling energy demand and it is increasing every year by 1.8% [1]. Thermal insulations help to reduce household energy demand and extend the periods of thermal comfort.

Pervious researches investigated the thermal insulating of a building only on cold or hot climate to save energy in which there was not any consideration of produced CO<sub>2</sub> emission, and it causes climate change which has comprehensive environmental and health effects.

The study aims to evaluate the Expanded Polystyrene (EPS) and Stone Mineral Wool at the humid continental climate to obtain better performance in thermal comfort of the building by saving energy consumption and minimizing fossil fuels energy costs which reduces CO<sub>2</sub> emission of a building in Middle East of Kabul (Afghanistan).

In order to fulfil the increasing demands of indoor comfort and energy efficiency requirements of buildings innovative materials with decent thermal properties have been developed such as thermal insulating polystyrene foams and mineral wool [2].

The selection of building insulation materials for the presented research such as expanded polystyrene (EPS) and stone mineral wool (SMW) is based on market availability and suitability to weather conditions at building location.

EPS belongs to the family of thermoplastics, such as methacrylate or polystyrene. Its consistency is rigid foamed and whitish its volume is made up of approximately 98% air and 2% solid material. It is a harmless and inert material that does not affect the environment or people's health, it has the advantage of not containing any nutritional value for fungi bacteria or other living organisms so it does not facilitate their appearance in the environment [3].

Mineral wool is a general term for stone wool and glass wool are the most common building insulation materials in the world.

Energy saving and the effective usage of energy become much more important in Kabul, Afghanistan. Energy consumption for heating is too high in Kabul because buildings have almost no insulation. Also, the high prices of heating energy in Kabul emphasize the need for energy saving. Therefore, the optimum insulation thickness of the external wall for the four different energy sources (coal, natural gas, fuel oil and electricity) and two different insulation materials (EPS, SMW) are calculated for Kabul [4].

Accurate measurements of thermal conductivity are of great importance for materials research and development for the buildings sector which both consumes a significant amount of energy and is also responsible for the emission of pollution to the atmosphere [5]. Therefore, taking the current environmental situation into account saving energy and reducing CO<sub>2</sub> emission have become the leading drive-in modern research. For buildings that require thermal insulation, one of the solutions is to optimize a thickness of their thermal insulation and thus improve energy efficiency and reduce energy needs [6].

The results of the research as well as project, all of the various performance of thermal insulation materials and their environmental impacts is plotted in figures and shown in tables and the most important all of the methods defined bellow and be calculated.



As per Figure 1 the building without thermal insulation shown highest heat losses while the building with expanded polystyrene insulation layer displayed lowest heat losses compared to stone mineral wool insulation layer.

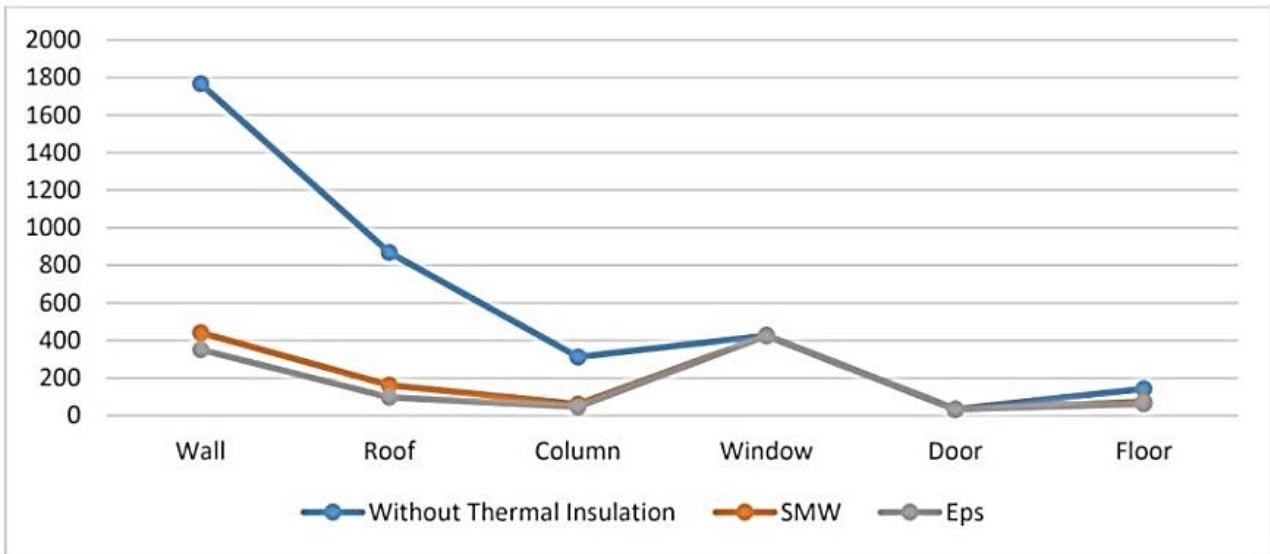


Fig. 1. Material heat losses with and without thermal insulation

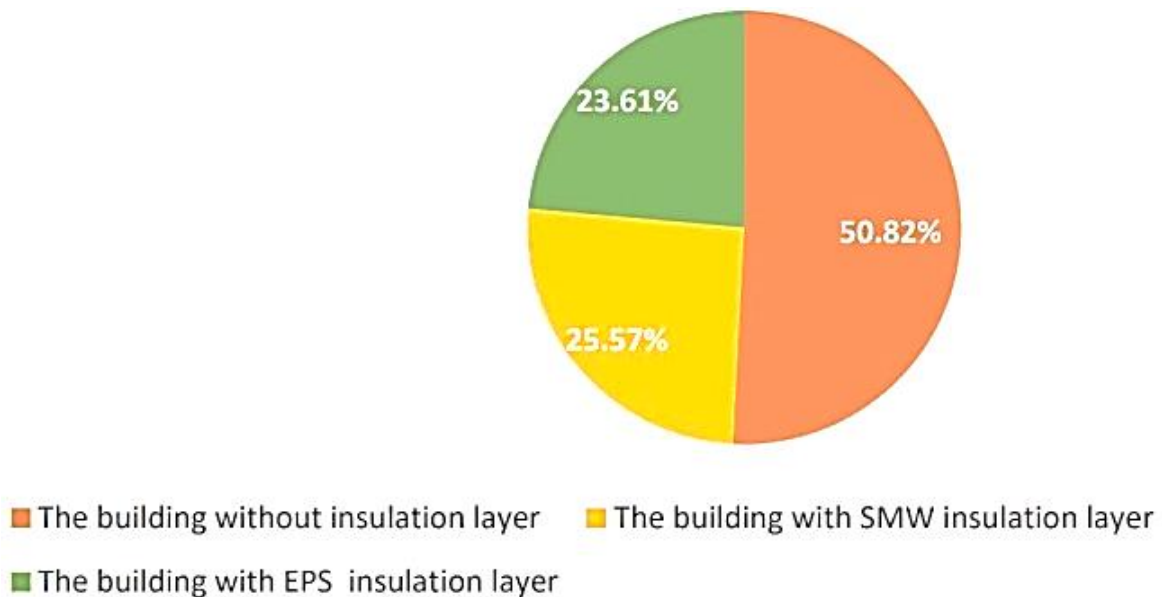


Fig. 2. Building without insulation and with insulation – energy losses

Every insulation has different characteristic which presents different results under the same conditions and thickness. It might be because it is strong in compression. EPSs are lightweight, highly resistant to moisture but not fully water impregnable like extruded polystyrene. It is durable and expected to remain effective for many years. Polystyrene have no opposite effect on either the surface spread of flame rating or fire resistance of the wall. Polystyrene used as insulator as it has small air bubble trapped inside it, that is why this make it very good insulator because heat energy cannot flow through it. According to the economic material as good insulator, polystyrene has high cost but it is effective option and its environmental impact is low. Both of them are long lasting and highly durable. Excellent for use in any energy efficient project and able to offer a high-quality insulation system to building.

Table 1– Calculation of external wall with thermal insulation (EPS)

$U = 1/RT, \text{ W/m}^2\text{K}$	$R_i, \text{ m}^2\text{K/W}$	$\lambda_i, \text{ w/mk}$	Thickness $d_i, \text{ m}$	Description
$U = 0.35$	0.0196	1.02	0.02	Interior Plaster
	0.36	0.86	0.31	Brick Masonry
	0.01724	1.16	0.02	Exterior Plaster
	2.28	0.033	0.075	Expanded Polystyrene
$R_{si} = \text{Interior surface} = 0.13$				
$R_{se} = \text{Exterior surface} = 0.04$				

Table 2 – Calculation of total thermal insulation of EPS

$B_{xi} \times A_i \times U_i, \text{ W/K}$	$B_{xi}$ (cause of thermal loss)	$A_i, \text{ m}^2$	$U_i, \text{ W/m}^2\text{K}$	Description
351	1	1003.8	0.36	Walls
98.3	0.8	323.4	0.4	Roof
46	1	126	0.39	Column
425	1	169.65	2.5	Window
33.9	1	6	5.65	Door
62	1	310.53	00.21	Floor
$\Sigma=1016$		$\Sigma=1939.4$	$\Sigma=9.45$	Total

Stone wool and polystyrene have identical thermal conductivity. The coefficient of thermal conductivity of stone wool is approximately 0.045–0.035 W/mK and EPS 0.040–0.030 W/mK. Figure 2 has shown high losses of heat without thermal resistance. The calculations shed a light to analysis and it observed that by using EPS thermal insulating materials the energy saving of building raises which lowers impacts of building on environmental.

The following recommendations can be given.

- Energy saving is more significant when a costly fuel is used.
- The most suitable fuels for all climate zones appear to be natural gas and coal.
- The diesel oil is a better choice when the atmospheric pollution is an important consideration.
- The variation in the results of different cities for a given climate zone indicates that the insulation calculations should be done separately for each city and not for a climate zone.
- Energy savings of wall area can be obtained when the optimum insulation thickness is applied.

#### REFERENCES:

1. Hasan Sh., Khan S. Impact of Phase Change Material (Butyl Stearate) and other insulation material on thermal performance of building envelope in different climates of India. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 43, pp. 706–713, Feb, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.764>. (Accessed Nov 10, 2021).
2. Gomes M.GI. Thermal conductivity measurement of thermal insulating mortars with EPS and silica aerogel by steady-state and transient methods. *Journal of Building Engineering*, vol. 3 pp. 640–647, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.036>. (Accessed, 2021).
4. Reimbold G. Principles of Thermal Insulation. Mid-mountain.com. Feb, 11, 2020. URL: <https://mid-mountain.com/thermal-insulation-how-is-itused/>. (Accessed, 2021).
5. Pal R.K., Sehgal S. Effect of cellulose fibre-based insulation on thermal performance of buildings. *Materials Today: Proceedings*, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.749> (Accessed, 2021).
6. Cui H., Overend M. Review of heat transfer characteristics of switchable insulation technologies for thermally adaptive building envelopes. *Energy and Buildings*, vol. 199, pp. 427–444, June, 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.078>. (Accessed, 2021).

## WATER SCARCITY IN SANA'A CITY AND THE POSSIBLE ENGINEERING SOLUTIONS

Sana'a is the Yemen's capital city characterized by a critical water scarcity situation where its aquifer is being over exploited three times faster than it naturally recharges. The goal of the paper is to explore environmental issues and possible engineering approaches related to water shortage in Sana'a.

Being on an altitude of 2,300 meters above sea level, Sana'a is home to nearly four million people and has played a major role in Yemen's historical activities. Its unique geographical location—being surrounded by mountains and situated on a large plain—has influenced the history of this city as well as its current predicament regarding water [1] [3].

Yemen ranks among the most arid countries globally regarding freshwater availability, while it is expected that by approximately 2030, Sana'a will have depleted all its available resources. Agriculture alone accounts for 90% of Yemen's use of water whereby most of this takes place within Sana'a Basin. The traditional crop varieties are replaced with more intensive cash crops such as qat thereby aggravating the problem. Moreover, there are significant problems with water distribution networks since only 43% of residents have access to safe drinking water on a regular basis [2]. Leakage rates in pipelines range from 40 to 60% even as wastewater leaks out leading to contamination and poor hygiene conditions due to quality concerns about their source. And to address the critical issue of water shortage in the city by exploring environmental challenges and proposing feasible engineering approaches to ensure a sustainable water supply for the local population there is suggested solution [4].

Transfers of surface water from Marib Dam: Proposing the diversion of water from Marib dam to Sana'a as solution of the water shortage. The size of the dam is 38 m high, 763 m long, built of earth across the Wadi Dhana at, creating a storage capacity of 398 million cubic meters. The dam site is located 3 km upstream of the ruins of the Great Dam. The water will be supplied from Marib to Sana'a in the containers and then stored in basins around the city's mountains the area of the project shows in Fig.1. Later on, it will be distributed to the city's water network. The place we have selected for this combo is near the fourth water station in Sana'a shows in Fig.2, aiding access to water because of the pressure difference.



Fig. 1. Project Area Source: Modeling through

And because the consumption in Sanaa water is 332 million cubic meters per year and the feeding water around 80 million m<sup>3</sup> per year there is a gap around 252 million m<sup>3</sup>per year [1], which corresponds to 690410 m<sup>3</sup>per day.

We can build at least ten concrete tanks to store water with a capacity of 10000 m<sup>3</sup> (30 m diameter and 15 m height), in order to store the water coming from Marib, to feed the tanks located in the areas of the Water Authority. That will cover 100000 m<sup>3</sup> per day. To calculate the estimated cost of building a tank with a volume of 10,000 m<sup>3</sup> using concrete at an approximately price of 40000 Yemeni Rial (YR) per cubic meter, for all work, and total cost will be 400,000,0000 YR for 10 Tanks. Considering that 1 US dollars equals 550 YR, the cost will be about 7,3 mln USD.

The engineering solutions for one of the major water scarcity problems in Sana'a are to apply geospatial technologies and designing innovative infrastructure development strategies for a sustainable water supply for the people who live in the city.



Fig. 2. Water utility's tanks

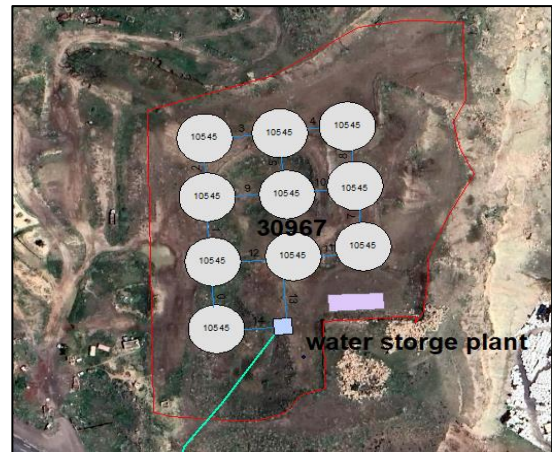


Fig. 3. Water storage plant on Asr mountain

For transfer the water from Marib to Sanaa for flow rate 690410 m<sup>3</sup> per day the minimum pipe diameter required to limit the water velocity to 5 ft/sec for a flow rate of 126657.6574 gallons per minute (gpm) is approximately 258.4 cm [5]. This calculation is crucial in designing water systems to ensure that the water velocity remains within acceptable limits to prevent pressure losses, water hammer, and pipe movement due to changes in water momentum inside the pipe.

And to calculate the estimated cost of lining a concrete pipe with a diameter of 258.4 cm. We compare the project with another one in Aden [6]. Based on the information provided, the cost of extending the water pipeline from Marib to Sanaa can be estimated as follows. The known cost of extending a water pipeline in Yemen was \$2 million for laying a pipe with a diameter of 80 cm. The project involved laying a pipe over a distance of 5 km.

To calculate the cost for a larger diameter pipe (250 cm) over a longer distance (180 km), we can use a proportional approach based on the diameter increase and distance and finally get 22.5 million USD.

The future action suggestions may comprise the following: implementation of the suggested solution, aquifers water levels monitoring, and regular maintenance of water distribution networks. Moreover, advocating for water conservation methods and implementing the technology that conserves water is an effective way to reduce water consumption and promote the sustainable use of water in the city.

In summary, the water scarcity crisis that faces Sana'a puts forward a major problem that needs to be solved here and now using solutions of engineering. Translocation of surface water from Marib Dam as a proposed measure for water scarcity control can be considered a promising solution in the sense of providing Sana'a city with water through a careful design of improved infrastructure.

Through the use of geospatial technologies and purposely planned infrastructure, complex water supply systems can be developed and implemented for the benefit of city dwellers. Figures for building tank cost and pipeline range extension as life show the real financial face of these engineering operations. It is clear that solving the problem of water scarcity must be with a multidimensional manner which combines the technological, financial, and environment aspects for a long-term and reliable solution.

#### REFERENCES:

1. Aljawzi A.A., Fang H., Abbas A.A., Khailah E.Y. Assessment of Water Resources in Sana'a Region, Yemen Republic (Case Study). *Water* 2022, 14, 1039. URL: <https://doi.org/10.3390/w14071039>.
2. WHO/UNICEF (2015) Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment, Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation.
3. Ministry of Water and Environment: Performance Indicators Information System (PIIS), Final Annual Report 2007, by Abdulquader Hanesh, Saleh Al Koli, Faisal Al-Badani, Ranya Al-Sofi, Adel Morshed, Barbara Gerhager and Nadia Al Harithi, December 2008.
4. Urban Water Scarcity in Sana'a, Yemen Aliza Herzberg Anthropology/Geography major, International Development concentration, and City and Regional Planning minor, Cal Poly.
5. Pipe Water Velocity and Minimum Pipe Diameter. URL: <http://irrigation.wsu.edu/Content/Calculators/General/Pipe-Velocity.php>.
6. News Point Arabic. URL: <https://www.newspointar.net/news/14616>.

УДК 692.435

А.А. Гиляева, О.Е. Ткаченко, Е.Ю. Негуляева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### КОНСТРУКЦИЯ ЗЕЛеноЙ КРЫШИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЕЕ ОБУСТРОЙСТВА НА ГОРОДСКИХ ЗДАНИЯХ

Зеленые крыши представляют собой инновационное инженерное решение, обладающее потенциалом существенного влияния на качество и комфорт городской среды. Это особая конструкция кровли, которая состоит из геотехнических слоев, позволяющих выращивать по всей поверхности растения.

Площадь озелененной территории квартала жилой зоны с застройкой многоквартирными жилыми зданиями должна составлять не менее 25% площади территории микрорайона [2]. Если использовать площадь кровли зданий для устройства конструкции зеленых крыш, то удастся увеличить площадь озеленения до трех раз. Анализ публикаций показывает, что практическое применение зеленых крыш помогло: увеличить популяции полезных насекомых, например, бабочек, пчел и божьих коровок, что увеличивает биоразнообразие в городе и экологическую стабильность [3], задержать (на время) ливневые потоки от 60 до 100% [4], уменьшить эффект теплового острова: около 27% солнечной радиации отражается конструкцией зеленых крыш, 60% – поглощается, 13% – переходит в субстрат и конструкцию здания, что может уменьшить расходы на кондиционирование от 15% до 75 % [4], уменьшить температуру в городе от 0,3 до 3°C [4], снизить уровень шума до 40 дБ при высоте растений от 12 см [4, 5], очистить атмосферу на 35–100% [4, 6], снизить колебание температур в течение дня [4].

*Цель работы* заключается в разработке конструкции зеленой крыши и анализа преимуществ ее обустройства в городских зданиях.

В работе запроектирован экстенсивный тип крыши (не требующий постоянного ухода в процессе эксплуатации). Данный тип зеленой крыши показал следующие преимущества [1]: не требует специального ухода и практически не требует полива; позволяет озеленять кровли

с различным углом наклона; имеет небольшой вес на единицу площади (10 см – слой грунта, низкие растения); возможность устройства на существующих зданиях; экономный вариант; не предполагает постоянного пребывания людей на кровле (снижает нагрузку на конструкцию); улучшает эстетическую составляющую ландшафта.

Запроектированная конструкция зеленой крыши состоит из шести специальных слоев [7]. Конструкция крыши представлена на рис. 1. Слои укладываются и крепятся на существующую конструкцию кровли в следующем порядке: корнезащитный слой, защитный влагонакопительный мат, дренажная мембрана, фильтрующий мат, экстенсивный субстрат.

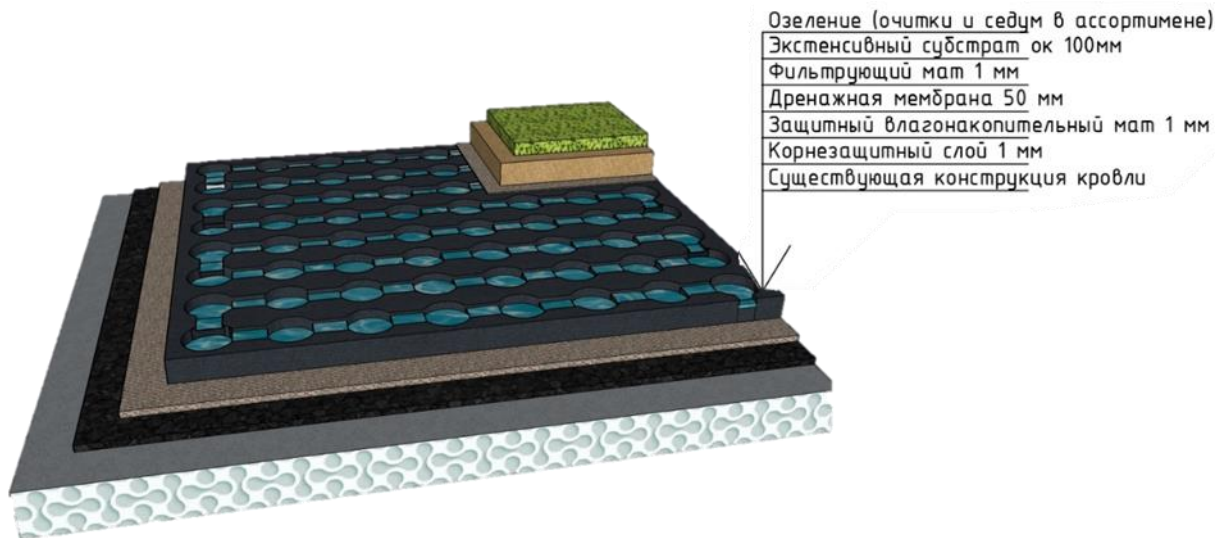


Рис. 1. Визуализация – 3D-модель конструкции зеленой крыши с описанием конструкции слоев

Проектирование конструкции зеленой крыши выполнено в программном комплексе SCAD. Расчёт производился методом конечных элементов, элементы с шагом 0,2×0,2 м. Сбор нагрузок на участок крыши выполнен согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Расчет перемещений по оси Z представлен на рис. 2.

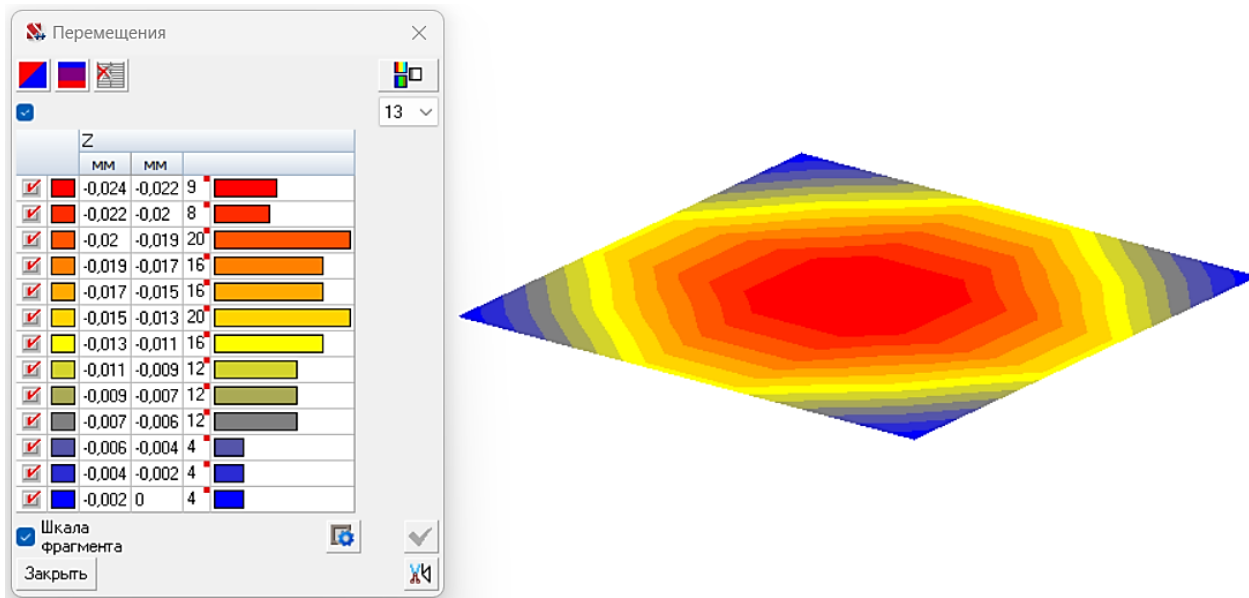


Рис. 2. Перемещения по оси Z

Основное сочетание нагрузок включает следующее. Собственный вес конструкции (собственные вес плиты, который учитывается SCAD при задании жесткостных характеристик, и вес слоёв «зеленой крыши»). При задании характеристик сечений (для ж/б плиты) учтен понижающий коэффициент, который равен для горизонтальных элементов  $k = 0,2$ .

Кратковременные нагрузки (полезная нагрузка на покрытия, снеговая нагрузка, ветровая нагрузка). Ветровую нагрузку (она действует на крышу как отрывная сила, то есть выдергивает крышу вверх) – для рассматриваемой конструкции крыши не рассматривается, потому что для этого нужны габариты и высота конкретного здания. Снеговая нагрузка рассчитана для Санкт-Петербурга. Расчёт веса снеговых мешков не производился для данной конструкции, так как не задана информация о конкретном здании (габариты, высота, конструктивные и архитектурные особенности).

Результаты прочностного расчета показали: согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» допустимый прогиб для нашего участка крыши – 5 мм. По результатам расчёта максимальный прогиб составляет 0,024 мм, что соответствует допустимому значению.

*Выводы.* В работе представлена конструкция зеленой крыши экстенсивного типа. Анализ публикаций по эксплуатации подобных крыш показал наличие положительного влияния данной конструкции крыш на состояние окружающей городской среды. Выполненные прочностные расчеты подтвердили надежность конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лекарева Н.А. Применение зеленых технологий для устройства садов на крышах // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: сборник статей. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2019. – С. 248–255.
2. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\* // утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1034/пр. – с изм. и допол. в ред. от 19.12.2019 – 125 с.
3. Мальцева Е.А. Зеленая кровля. Ее применение в климатических условиях Санкт-Петербурга / Е.А. Мальцева, Д.А. Егорова // Синергия Наук. – 2018. – № 21. – С. 478–505.
4. Возьльц Дж. Характеристики и преимущества зеленых крыш в городской среде. Портленд. 2006, 9 с.
5. Иоффе, А. О. Зеленые растения и зеленые крыши как способ борьбы с шумовым загрязнением // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4(51). – С. 215.
6. Сысоева Е.В. и др. Методика обоснования эффективности улавливания пыли «зелеными» крышами // Вестник МГСУ. 2022. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obosnovaniya-effektivnosti-ulavlivaniya-pyli-zelenymi-kryshami> (дата обращения: 06.03.2024) – 11 с.
7. Гилязева А.А., Негуляева Е.Ю. Зеленая крыша. особенности конструкции с учетом экологического значения // Экологическая неделя БРУ–СПбПУ: Сборник материалов научно-практической конференции с международным участием, 10–13 октября 2023 г. СПб.: Политех-пресс, 2023, с. 15.

УДК 69.059

В.П. Андросова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Современные строительные материалы и технологии играют решающую роль в создании инновационных и энергоэффективных решений, способствующих снижению энергопотребления, сокращению выбросов парниковых газов и повышению комфортности проживания. Настоящая научная статья посвящена аналитическому обзору рынка современных строительных материалов, их свойств и применения с целью улучшения энергоэффективности жилищно-коммунального комплекса.

С началом XXI века мир столкнулся с серьезными вызовами в области энергетической эффективности, связанными как с глобальным изменением климата, так и с неустойчивостью в поставках энергоресурсов. С учетом того, что жилищно-коммунальный комплекс является одним из крупнейших потребителей энергии, улучшение энергоэффективности зданий становится важной стратегической задачей. Современные строительные материалы и технологии играют ключевую роль в достижении этой цели [1–3].

Современные теплоизоляционные материалы, такие как экструдированный пенополистирол, минеральная вата, и полиуретановая пена, обладают низким коэффициентом теплопроводности и долговечностью. Их применение позволяет существенно снизить теплопотери через наружные стены и кровлю зданий. Эти материалы также могут использоваться для утепления подвалов и перекрытий, что способствует уменьшению энергозатрат на отопление и кондиционирование внутренних помещений.

Энергосберегающие оконные системы включают в себя стеклопакеты с низкоэмиссионным покрытием и многослойными рамами. Они снижают теплопотери и предотвращают проникновение холодного воздуха, что повышает комфортность внутренних помещений и снижает энергозатраты.

Интеграция солнечных и ветряных технологий в жилищно-коммунальный комплекс представляет собой важный шаг в увеличении энергоэффективности. Фотоэлектрические солнечные панели и ветряные турбины могут быть интегрированы в фасады и крыши зданий, обеспечивая генерацию чистой электроэнергии.

Современные строительные технологии также позволяют интегрировать умные системы управления энергопотреблением в здания. Эти системы могут контролировать освещение, отопление, кондиционирование воздуха и другие энергопотребляющие устройства, оптимизируя их работу в реальном времени. Использование датчиков, сетей и программных решений позволяет значительно снизить излишние энергозатраты и повысить общую энергоэффективность здания [4, 8].

Особенности использования современных строительных материалов и технологий заключаются в следующем.

1. Снижение энергопотребления, ведущее к сокращению затрат на коммунальные услуги для жильцов и снижению нагрузки на энергетическую инфраструктуру [5–7];

2. Экономическая эффективность. Хотя начальные инвестиции в современные строительные материалы могут быть выше, долгосрочные выгоды в виде снижения энергозатрат и эксплуатационных расходов компенсируют эти издержки. Это делает проекты с использованием современных материалов финансово привлекательными.

3. Улучшение комфорта. Снижение теплопотерь и минимизация перепадов температуры в помещениях создают более комфортные условия для проживания.

4. Снижение воздействия на окружающую среду.

Вызовы и ограничения, с которыми сталкиваются при использовании современных строительных материалов для улучшения энергоэффективности жилищно-коммунального комплекса:

- высокие начальные затраты. Одним из основных вызовов являются высокие начальные инвестиции. Многие из этих материалов и технологий могут быть более дорогими по сравнению с традиционными вариантами;
- необходимость квалифицированных специалистов. Монтаж и обслуживание современных строительных материалов и систем требуют высокой квалификации и специализированных навыков;
- нестабильность рынка и изменения в технологиях. Рынок современных строительных материалов постоянно эволюционирует, и новые технологии могут быстро становиться устаревшими;



- долгосрочная окупаемость. Вложения в современные строительные материалы и технологии могут потребовать времени для окупаемости;
- нормативные и правовые аспекты. Для успешного внедрения современных строительных материалов и технологий необходимо соответствие строительным нормативам и законодательству;
- ограничения на местном уровне. В ряде случаев, местные законы и нормативы могут ограничивать использование определенных строительных материалов или технологий, что может создать сложности при реализации проектов.

Таким образом, современные строительные материалы и технологии предоставляют собой ценные инструменты для достижения более эффективных, устойчивых и комфортабельных жилищно-коммунальных комплексов. Применение этих материалов представляет собой важный шаг в направлении улучшения качества жизни, снижения воздействия на окружающую среду и сокращения энергозатрат.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Голубова О.С. Экономические аспекты повышения энергоэффективности жилых зданий / О.С. Голубова; Н.А. Григорьева. – Минск : БНТУ, 2018. – 174 с.
2. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7 (583). С. 113–116.
3. Венцюлис Л.С., Чусов А.Н., Скорик Ю.И. Энергоресурсосбережение как основная проблема топливно-энергетического комплекса России / Л.С. Венцюлис, Ю.И. Скорик, А.Н. Чусов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 239 с.
4. Семенова Э.Е. Анализ применения современных энергосберегающих материалов при реконструкции торговых центров / Э.Е. Семенова, Н.П. Артамонов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 3-4(24-25). – С. 57–60.
5. Горбунов С.М., Михайлова Е.В. Современные технологии и материалы в жилищно-коммунальном хозяйстве: анализ и перспективы // Вестник инженерных наук, 2018. 5(2), С. 34–47.
6. Чернов Д.В. Совершенствование системы управления жилищно-коммунальным хозяйством в современных условиях / Д.В. Чернов // Синергия Наук. – 2021. – № 63. – С. 213–222.
7. Кузнецов Е.П., Дыбов А.М., Стурьгин Н.М., Чусов А.Н. Инженерное обеспечение и оборудование объектов городского строительства и хозяйства: учеб. пособие / Е.П. Кузнецов [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 812 с.
8. Семенова Э.Е. Современные решения теплозащиты наружных ограждающих конструкций / Э.Е. Семенова, М.А. Овсянникова // Материалы 14 Межрегиональной научно- практической конференции «Высокие технологии в экологии». – Воронеж, ВГАСУ, 2011.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Одной из наиболее актуальных экологических проблем нашего времени является загрязнение водных объектов микропластиком. Микропластик – это небольшие фрагменты и частицы пластиковых материалов (размером до 5 мм), которые образуются в результате разрушения пластиковых изделий, а также из-за долговременных процессов разложения пластиковых отходов в окружающей среде [1]. Микропластик становится все более распространенным загрязнителем, влияющим на экосистемы и здоровье человека.

Исследование содержания частиц микропластика в природных водах – это важный шаг в понимании последствий пластикового загрязнения и разработке необходимых мер для его предотвращения. С тех пор как в 2004 году было введено понятие «микропластик» (далее – МП) [2], он был обнаружен в различных средах окружающей среды и организмах по всему миру [3–4]. До настоящего времени сообщалось о загрязнении микропластиком более чем 690 морских видов (зоопланктона, двустворчатых моллюсков, десятиногих ракообразных, рыб, морских млекопитающих) [5–6]. Многочисленные эксперименты продемонстрировали токсические эффекты микропластика у перечисленных морских видов, такие как ингибирование роста, окислительное повреждение и иммунный стресс [7]. Частицы микропластика также могут накапливаться в морских организмах и передаваться по пищевой цепи на более высокие трофические уровни, включая человека [8].

*Цель работы* – провести исследование по выявлению частиц микропластика в поверхностных водах г. Санкт-Петербурга для дальнейшего удаления их с помощью микроводорослей *Chlorella kessleri*.

Для проведения исследования на наличие содержания частиц микропластика были отобраны пробы вод в трех точках Красносельского района Санкт-Петербурга, представленных на рис. 1. Проба №1 – Жемчужный пляж Финского залива, проба №2 – Дудергофский канал, проба №3 – Матисов канал. Кружки с числами на рис. 1 соответствуют точкам отбора проб. Выбор мест отбора проб обусловлен следующими условиями: точки 1, 2, 3 находятся в пляжном рекреационном районе. Кроме того, в этом месте проходит постоянное поверхностное течение Балтийского моря.

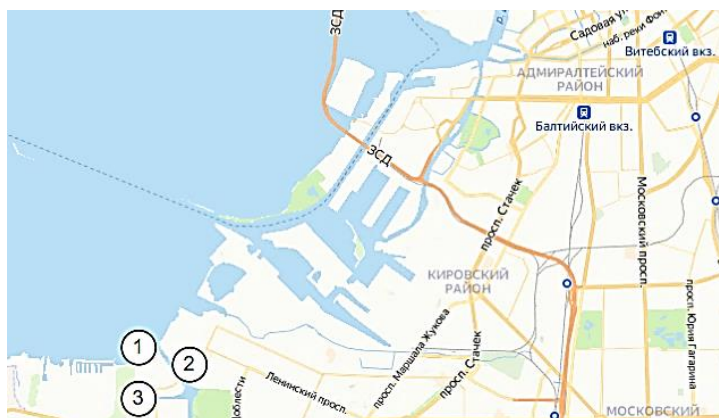


Рис. 1. Картограмма территории отбора проб в г. Санкт-Петербурге

Для проведения анализа содержания микропластика в пробах природных вод необходима пробоподготовка. Сотрудниками Института озераведения РАН [9] была разработана методика исследования содержания частиц микропластика в воде, она была адаптирована и применена для данного исследования. Методику обработки проб для выявления микропластика можно разделить на четыре основных этапа.

Первый этап – плотностное разделение микропластика в 55%-ого растворе  $ZnCl_2$ . На лабораторных весах Demcom – DL213 взвесили 165 г безводного  $ZnCl_2$ , затем эту навеску добавили к 300 мл отобранной воды. Полученный раствор хлорида цинка в отобранной воде перемешивали стеклянной палочкой в стеклянном стакане в течение 30 минут и затем отстаивали около 1 часа. После того, как вода отстоялась, надосадочную жидкость профильтровали через металлический фильтр с ячейками 100 мкм. Частицы микропластика, которые остались на металлическом фильтре, смывали 25 мл дистиллированной воды в стеклянный стакан для дальнейшего растворения биоматериала.

Второе этап – мокрое перекисное окисление органических веществ смыва. В стакан со смывом (25 мл), содержащем микропластик и органику, добавили равный объем 30%-й раствора  $H_2O_2$  (25 мл), после чего полученные 50 мл жидкости нагревали на водяной бане до  $75^{\circ}C$  до растворения органики (примерно 45 мин.). После растворения биологического материала раствор жидкость профильтровали через металлический фильтр с ячейками 100 мкм, после чего остатки частиц микропластика и крупных фрагментов были удалены пинцетом, а оставшиеся частицы с фильтра были смыты дистиллированной водой в стеклянные чашки Петри (диаметром около 10 см).

Третий этап – это процесс полного высушивания проб в чашках Петри в течение 2–3 суток при комнатной температуре. Чашки Петри накрывали листом бумаги для предотвращения попадания пыли.

Четвертый этап – визуальный анализ полученных образцов на оптическом микроскопе Микмед-5 (Россия) в проходящем свете, при общем увеличении 400 (10x – окуляр и 40x объектив). Микрофотографии получали с помощью видеоокуляра TourCam с разрешением  $2592 \times 1944$  пикселей (см. пример на рис. 2).

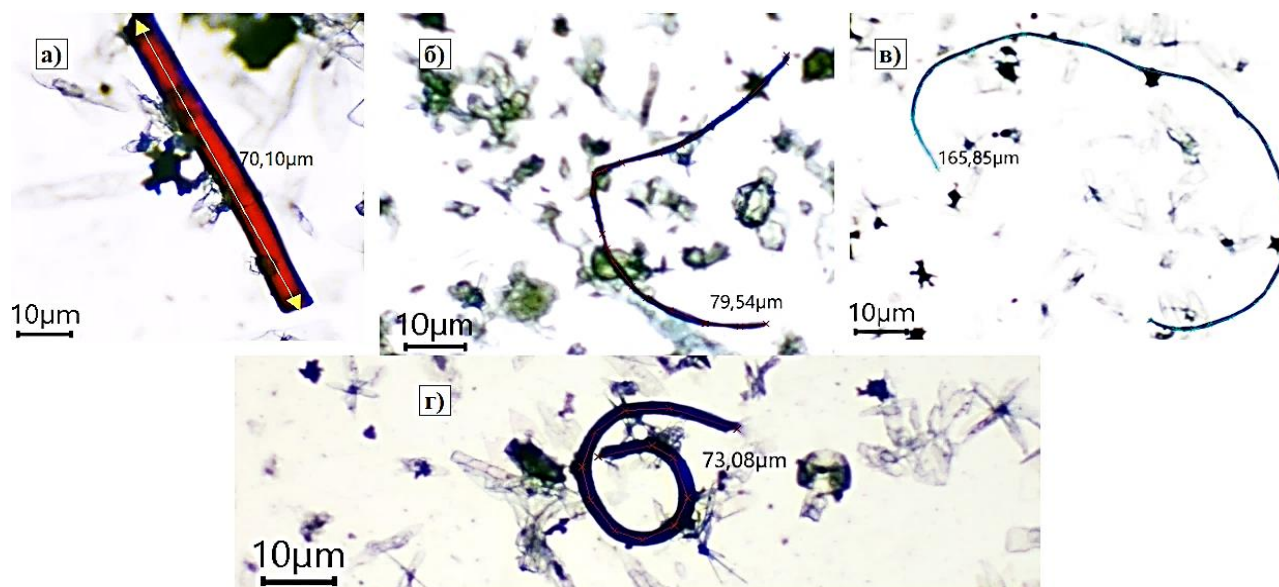


Рис. 2. Обнаруженные частицы микропластика в пробах №№ 1–3

В результате при микроскопировании обнаружен микропластик различных форм, цветов и размеров. На рисунке 2 представлены примеры обнаруженных частиц:

- а) нитеобразная частица красного цвета с синим контуром размером 70,1 мкм в пробе №1;
- б) синяя частица нитевидной формы размером 79,54 мкм в пробе №2;
- в) частица микропластика синего цвета подковообразной формы размером 165,85 мкм в пробе №3;
- г) частица микропластика синего цвета размером 73,08 мкм в пробе №3.

При микроскопировании трех отобранных проб была выявлена наиболее загрязненная проба с наибольшим количеством частиц микропластика – это проба №3, отобранная в Матисовом канале (см. рис. 3).

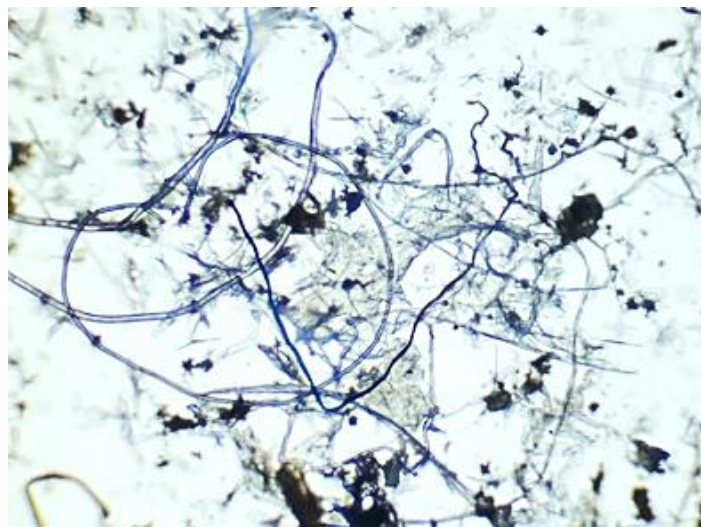


Рис. 3. Частицы микропластика, обнаруженные в пробе № 3

Таким образом, полученные в работе результаты свидетельствуют о наличии выявленных при микроскопии частиц микропластика размером от 70 до 165 мкм различных форм и цветов. Был выявлен наиболее загрязненный водный объект с высоким содержанием частиц микропластика. В дальнейшем планируется провести исследование по удалению частиц микропластика в наиболее загрязненном водном объекте из представленных с помощью микроводорослей *Chlorella kessleri*.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Омельченко Е.В., Киселёва А.П. Микропластик в нашей жизни //Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения. – 2019. – С. 317–321.
2. Thompson R.C. et al. Lost at sea: where is all the plastic? //Science. – 2004. – Т. 304. – №. 5672. – С. 838–838.
3. Alimi O.S. et al. Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport //Environmental science & technology. – 2018. – Т. 52. – №. 4. – С. 1704–1724.
4. Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review //Environmental pollution. – 2013. – Т. 178. – С. 483–492.
5. Carbery M., O'Connor W., Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health //Environment international. – 2018. – Т. 115. – С. 400–409.
6. Toussaint B. et al. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain //Food Additives & Contaminants: Part A. – 2019. – Т. 36. – №. 5. – С. 639–673.
7. Lu Y. et al. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver //Environmental science & technology. – 2016. – Т. 50. – №. 7. – С. 4054–4060.
8. Van Cauwenberghe L. et al. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats //Environmental pollution. – 2015. – Т. 199. – С. 10–17.
9. Поздняков Ш.Р. и др. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива //Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – №. 4. – С. 411–420.

СТАНДАРТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОТБОРА  
МИКРОПЛАСТИКА ИЗ ВОДОТОКОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В последние десятилетия проблема микропластика пополнила собой ряд глобальных экологических проблем. Многочисленные исследования микропластика в морях и океанах в значительной степени уступили место изучению его в континентальных водоемах и водотоках.

Методически процесс изучения микропластика складывается из следующих стадий: отбор проб в водных объектах, плотностное разделение собранных примесей, расщепление лабильных органических примесей, качественный и количественный анализ микропластика с расчетом концентрации на кубический метр воды в водоисточнике [1].

*Цель работы* состояла в анализе первой стадии – отбора проб в пресных водотоках. Для ее достижения необходимо было рассмотреть методики отбора проб и применяемое оборудование; варианты расчета объема воды, из которого отбирается микропластик; провести расчет объема отбираемой воды для ряда водотоков Ленинградской области с применением выбранного оборудования; рассмотреть влияние на результат расчета размера ячеек пробоотборника и степени загрязнения водоисточника.

В целом, на количество и распределение микропластика влияют гидрологические условия водного объекта, метеоусловия, географические, сезонные и другие факторы. Их правильный учет, а также правильное определение объема воды, из которого отобран микропластик, влияет на репрезентативность результатов [2].

На стадии отбора проб в водотоках обычно используют сетчатые пробоотборники, стационарные или динамические (движущиеся). Многие типы сетчатых пробоотборников принципиально близки по конструкции. На рис. 1 представлены схемы пробоотборников (сетей) Джеди (А) и Апштейна (Б) [3]. Сеть Джеди состоит из двух конусообразных частей, сшитых между собой основаниями, передняя часть, через которую вода поступает для фильтрования, изготовлена из плотной ткани, а входное отверстие усилено металлическим обручем, задняя часть выполнена из ситового материала с различным размером пор, на конец которого прикрепляется стаканчик для проб. Сеть Апштейна представляет собой конусообразную сеть, изготовленную из ситового материала с разным размером пор. На конце сачка устанавливается пробоотборный стаканчик, входное основание сети усилено металлическим обручем.

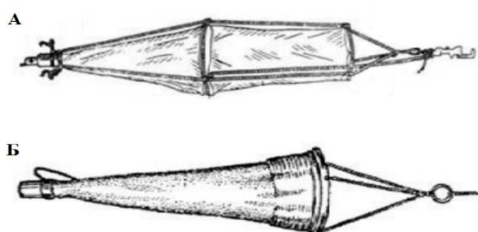


Рис. 1. Сети Джеди (А); Апштейна (Б) [3]

В продаже имеются: сеть Джеди с габаритами  $d180 \times 270 - d270 \times 550$  (№1) с размером ячеек 35, 56, 74, 82 и 100 мкм (также имеются образцы с другими габаритами с отверстиями 74 и 100 мкм) [4]; сеть Апштейна с габаритами  $d250 \times 550 \times d35$  мм (№2),  $d400 \times 1000 \times d60$  мм (№3) (размер ячеек 67 мкм) [4]. Номера 1, 2, 3 отмечены сети, принятые далее в расчет.

Для данных пробоотборников был проведен расчет объема проходящей через сеть воды для извлечения микропластика, с учётом скорости течения воды в водотоке, времени отбора проб и габаритов предложенного оборудования.

Объектами исследования в данной работе являются 13 водотоков Ленинградской области, скорость течения воды в которых находится в диапазоне 0,1–8,0 м/с. При этом для большинства из них скорости невелики (максимальные не превышают 0,6 м/с), кроме того, невелико и различие между минимальной и максимальной скоростями (0,1–0,3 м/с). В то же время, для реки Вуоксы можно выделить участки с низкими и высокими скоростями, с малой и с большой разницей скоростей на участке (например, 0,2–0,3 и 2–8 м/с). Скорости течения воды в Вуоксе были использованы в приведенном ниже примере расчета объема отфильтрованной воды.

При наличии механического или электронного расходомера, прикрепленного к отверстию сети, объем воды, прошедшей через сеть  $V$ , м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле (1) [5]:

$$V = Snp, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь устья предлагаемых к использованию сетей, м<sup>2</sup> (для №1 – 0,0254 м<sup>2</sup>; №2 – 0,0491 м<sup>2</sup>; №3 – 0,1257 м<sup>2</sup>);  $n$  – количество оборотов рабочего колеса, зафиксированное расходомером;  $p$  – гидравлический шаг.

При стационарном отборе проб в отсутствии расходомера объем воды равен [5]:

$$V = SUT, \quad (2)$$

где  $U$  – скорость течения рек на участках наблюдения (табл. 1), м/с (для расчета принимают среднюю скорость течения);  $T$  – время отбора проб, для планктонных сетей принято 1800 с.

Пример результатов расчета объема отфильтрованной воды по формуле (2) для разных участков р. Вуоксы приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета объема отфильтрованной воды при отборе проб в водотоках различными вариантами сетей

Река	Средняя скорость течения, м/с	Расчетный объем отфильтрованной воды, м <sup>3</sup>		
		№1 (Джеди)	№2 (Апштейна)	№3 (Апштейна)
Вуокса	1,55	70,9	137,0	350,7
	0,25	11,4	22,1	56,6
	5,00	228,6	441,9	1131,3

Следует отметить, что формула (2) не учитывает различные потери напора в сетях с разным размером ячеек, а также не учитывает снижение проницаемости сетей в загрязненных природных водах, но, как правило, в публикациях по отбору и анализу микропластика это не обсуждается. Тем не менее, учет этих факторов важен для обоснования времени отбора проб и получения достоверных данных.

Известно [6], что потери напора на чистой сетке определяют по формуле (3):

$$h_0 = \xi_0 \frac{\rho u_1^2}{2A^2}, \quad (3)$$

где  $\xi_0$  – коэффициент сопротивления для ламинарного режима (при  $Re_c < 4$  равен  $\xi_0 = 6,7/Re_c$ );  $u_1$  – скорость движения воды на подходе к сетке, м/с;  $A$  – свободное сечение сетки, доли единицы. Число Рейнольдса  $Re = u_1 R_c / \nu$ , где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с, где  $R_c$  – гидравлический радиус сетки ( $R_c = A/2\pi N$ , где  $N$  – число проволок на единицу длины). Таким образом, потери напора будут расти с уменьшением размера ячеек.

Формула для потерь напора во время фильтрации содержит в знаменателе член  $(1-\beta_k)^2$ , где  $\beta_k$  – коэффициент загрязнения сетки. В работе [7] показано, что влияние засорения сетей на оценку концентрации микропластика (объема прошедшей через сеть воды) остается неопределенным. В зависимости от степени загрязнения изучаемых в [7] рек эффективность фильтрации за 30 минут падала примерно на 50–87%. Авторы сделали вывод о том, что для обеспечения эффективности фильтрации не ниже 85% для этих объектов время фильтрации не должно превышать 3–7 минут.

Таким образом, в работе были рассмотрены и проанализированы общепринятые методики отбора проб воды для извлечения микропластика с применением сетей Джели и Апштейна; для 13 водотоков Ленинградской области по формуле для стационарного отбора проб рассчитан объем отбираемых проб с учетом скорости течения воды и параметров пробоотборников; проанализировано влияние на результаты расчета размера ячеек сетей; показана необходимость учета степени загрязнения водоисточника при установлении времени отбора проб для получения достоверных результатов расчета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казак Е.С., Филимонова Е.А., Преображенская А.Е. Микро- и нанопластик в природных водах России и проблемы его определения // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2022. – № 6. – С. 110-123.
2. Сапрыкин А.И., Самойлов П.П. Микро- и нанопластики в окружающей среде (Аналитика, источники, распределение и проблемы экологии) // аналит. обзор / Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2021. –115 с. – (Сер. Экология. Вып. 110).
3. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г.К. Плотников, Т.Ю. Пескова., А. Шкуте, А. Пупиня., М. Пупиньш // Даугавпилс.: Академическое издательство Даугавпилсского университета «Сауле», 2017. – 282 с.
4. Сеть планктонная, Сеть Джели, Сеть Апштейна URL: <https://kzpo.ru/products> (Дата обращения 20.02.2024).
5. A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments / C. Campanale, I. Savino, C. Massarelli [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 17. – P. 6755. – DOI 10.3390/SU12176755.
6. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 188 с.
7. Experimental uncertainty assessment of meso- and microplastic concentrations in rivers based on net sampling / Tomoya Kataoka, Mamoru Tanaka, Arata Mukotaka, Yasuo Nihei // Science of The Total Environment, 2023. – V. 870, 161942.

УДК 628.31

С.А. Котов, З.В. Наумова, Т.С. Кудрявцева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СТАЛЕПРОКАТНАЯ ОКАЛИНА – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД

Переработка стали в прокат, сопровождаемая воздействием высоких температур в окислительной атмосфере, способствует образованию окалины, представляющей из себя смесь оксидов железа [1], в количестве от 2,5 % до 3,0 % (то есть 25–30 кг на 1 т стали).

Прокатная окалина, являясь отходом производства (коды ФККО 3 51 501 11 20 4 и 3 51 501 02 29 4 [2]), пока находит практическое применение только в качестве вторичного сырья для производства стали [3]. Однако, обнаруженные у прокатной окалины сорбционные свойства в отношении тяжёлых металлов [4, 5] делают перспективным её использование для очистки загрязнённых сточных вод.

*Цель работы* состояла в изучение свойств прокатной окалины с точки зрения ее возможного использования в области защиты водных сред от загрязнений.

Образцы окалины для исследования были получены на заводе по производству низкоуглеродистой стали (рис. 1). Они представляли собой пластины неправильной формы толщиной  $(4,0 \pm 0,3)$  мм, проявляющие магнитные и электропроводящие свойства.

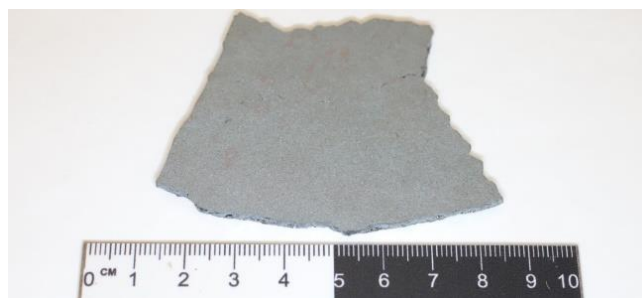


Рис. 1. Внешний вид прокатной окалины

Рентгенофазовый анализ (на дифрактометре BRUKER D8 Advance) показал, что на внешней стороне окалины присутствуют гематит и магнетит, на контактной (внутренней) стороне – гематит и эpsilon-оксид железа III ( $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) в малой концентрации, на поперечном изломе – гематит, магнетит и вюстит [6]. При сравнении данных о содержании фаз оксидов железа в экспериментальном образце выявлено сходство с составом фаз, приведённых в работе [5].

Важным обстоятельством при применении материалов для очистки водных сред является их безопасность, т. е. отсутствие миграции из них в воду токсичных компонентов, например, ионов тяжёлых металлов. Была проведена экстракция растворимых компонентов из прокатной окалины в воду. Окалину фракции от 1 до 3 мм общей массой 200 г поместили в 2000 г бидистиллированной воды (полученной в стеклянном приборе из дистиллята, полученного в приборе из нержавеющей стали). Время контакта составило 10 суток при температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . После слива бидистиллята (первый цикл экстракции) навеску окалины заливали новой порцией бидистиллята и настаивали аналогично. Эксперимент по экстракции проводился в лаборатории ТОПиПСВ (ИСИ), анализ тяжёлых металлов в воде (методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой по ПНД Ф 14.1:2:4.135-98) проводили в лаборатории НПО «Тайфун». Результаты анализа полученных растворов представлены в табл. 1. Погрешности измерения (согласно протоколу НПО «Тайфун»): цинк –  $(0,049 \pm 0,017)$  мг/дм<sup>3</sup>, медь –  $(0,010 \pm 0,004)$  мг/дм<sup>3</sup>, марганец –  $(0,088 \pm 0,021)$  мг/дм<sup>3</sup> согласно указанной методике.

Таблица 1 – Концентрации металлов, извлечённых в бидистиллированную воду из прокатной окалины

Показатели	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>		
	После 1-го цикла экстракции	После 2-го цикла экстракции	ПДК [7]
Железо (общее)	< 0,05	< 0,05	0,1
Цинк	0,049	< 0,01	0,01
Медь	0,010	< 0,005	0,001
Марганец	0,088	< 0,01	0,01
Кадмий	< 0,0001	< 0,0001	0,005
Никель	< 0,001	< 0,001	0,01
Хром	< 0,001	< 0,001	0,02

Из табл. 1 видно, что прокатная окалина практически не содержит растворимых форм железа, переходящих в воду при длительном контакте. Выделение некоторого количества растворённых форм цинка, меди и свинца происходит только за первый цикл экстракции, а втором цикле экстракции (который проводился аналогично) не происходит. Растворимых форм кадмия, никеля и хрома, переходящих в воду, не обнаружено. Следовательно, использование отходов прокатной окалины для решения задач защиты водных сред от загрязнений возможно и безопасно.



Таким образом, в проведенной работе выявлено сходство по составу фаз окислов железа в исследуемых образцах прокатной окалины с данными других авторов. Безопасность использования прокатной окалины для очистки водных сред подтверждена незначительной первоначальной эмиссией в воду растворённых форм тяжёлых металлов.

Выражаем благодарность лаборатории НПО «Тайфун» и лаборатории ТОПиПСВ (ИСИ) за помощь в проведении анализов для настоящего исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование физико-химических характеристик оксиджелезосодержащего техногенного сырья. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 9. С. 107–112.
2. Государственный кадастр отходов. Росприроднадзор. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/bdo/> (дата обращения: 16.01.2024).
3. Saberifar S., Jafari F., Kardi H., Jafarzadeh M.A., Mousavi S.A. Recycling evaluation of mill scale in electric arc furnace. Journal of Advanced Materials and Processing. 2014. V. 2. No. 3. P. 73–78.
4. Martin M.I., Lopez F.A., Perez C., Lopez-Delgado A., Alguacil F.J. Adsorption of heavy metals from aqueous solutions with by-products of the steelmaking industry. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2005. V. 80. P. 1223–1229.
5. Ajmal Z., Muhmood A., Usman M., Kizito S., Lu J., Dong R., Wu S. Phosphate removal from aqueous solution using iron oxides: Adsorption, desorption and regeneration characteristics. Journal of Colloid and Interface Science. 2018. V. 528. P. 145–155.
6. Котов С.А., Кудрявцева Т.С., Наумова З.В. Сравнительный анализ состава и структуры прокатной окалины металлургических предприятий. Металловедение и термическая обработка металлов. 2024. № 3. С. 66–70.
7. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006?ysclid=lszwv17aqd341673422> (дата обращения: 13.01.2024).

УДК 628.17

Го Цзя, М.Ю. Андрианова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### НЕХВАТКА ВОДЫ В ОТДАЛЕННЫХ РАЙОНАХ КИТАЯ

С развитием экономики и общества Китая, постепенным ростом населения и изменением климата ситуация с водными ресурсами становится все более серьезной, становясь препятствием для социального развития страны. *Цель работы* состоит в анализе причин нехватки воды в отдаленных районах Китая и разработке предложений по ее преодолению.

Население Китая составляет 20% от мирового, однако страна располагает всего 7% мировых запасов пресной воды. Сельское хозяйство и промышленность потребляют более 85% воды в стране. Развитие китайской экономики в 1990-е гг. привело к серьезному сокращению запасов пресной воды. По данным 2010 г., обеспеченность водой на душу населения составило 2074,5 м<sup>3</sup>/год, то есть 28% от среднемирового потребления. Во многих регионах и крупных городах водопотребление на душу населения составляло 100–400 м<sup>3</sup> на человека в год (по данным 2010 г.), что ниже критического уровня (500 м<sup>3</sup>/чел/год), установленного Всемирным водным конгрессом в 1977 г. Дефицит воды в Китае оценивается в 40 млрд м<sup>3</sup>, а разработка новых запасов водных ресурсов чрезвычайно трудна [1].

Обеспокоенность вызывает и загрязнение природных вод. Более 70% рек Китая загрязнены, главным образом из-за сброса неочищенных или слабо очищенных сточных вод и других отходов, которые поступают в количествах, превышающих способность водных объектов к самоочищению.

Годовой сброс промышленных и бытовых сточных вод в Китае достиг 63,1 млрд т, что эквивалентно сбросу более 40 т сточных вод на человека в год, при этом большинство стоков сбрасываются в реки, озера и моря без очистки. Например, в бассейне р. Янцзы промышленные и бытовые сточные воды распределяются как 75 и 25% соответственно [2, 4].

Серьезную опасность представляет диффузное загрязнение с полей, вызванное использованием химических удобрений, пестицидов и других ядохимикатов, по интенсивности применения которых Китай лидирует в мире, а также эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях [2, 5].

Сельское хозяйство отличается высоким потреблением воды, тем более что для Китая характерно выращивание риса, который растет «по колено в воде» на затопляемых полях. При этом сорняки погибают в воде (и перегнивая, обогащают почву), на затопленных полях можно формировать систему «рис-рыба» (где выращиваемая рыба заодно поедает вредных насекомых), урожайность сортов для заливного выращивания выше, чем для суходольных. Таким образом, эта древняя технология имеет массу преимуществ, кроме одного – водоемкости. Для производства 1 кг риса проливным методом необходимо суммарно 3–5 м<sup>3</sup> воды, что примерно втрое больше, чем для 1 кг пшеницы. В некоторых районах посевные поля по-прежнему поливаются методом затопления, недостаток водных ресурсов и нерациональное использование оросительной воды существуют в стране параллельно. В Китае площадь полей, на которых применяются капельное орошение и дождевание, составляет лишь 11% общей площади орошаемых полей, индекс эффективного использования оросительной воды достигает лишь 0,52, в то время как в Израиле этот показатель составляет 0,8, в Австралии – 0,65. При этом сбор зерна на кубометр оросительной воды составляет в Китае 1,5 кг или около 60% от передового мирового уровня [3].

Наконец, для Китая характерно неравномерное пространственное распределение водных ресурсов (рис. 1). 80% источников воды находится на юге Китая. Но эта вода не может быть доставлена в 12 китайских провинций, имеющих: 41% от общего населения, 38% сельского хозяйства, 46% всей промышленности, и 50% производства электроэнергии в стране.

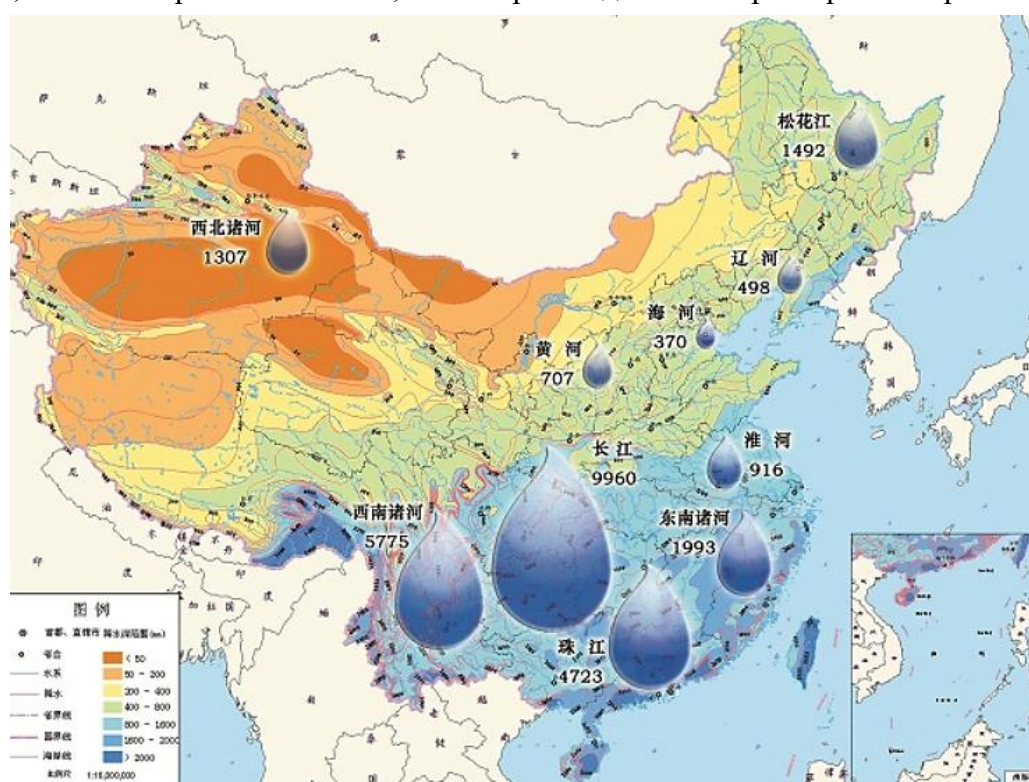


Рис. 1. Распределение водопотребление между различными районами Китая

Согласно соответствующей статистике, более 400 из 663 городов по всей стране не имеют достаточного водоснабжения в течение всего года, а в 110 городах мало воды. Особенно заметно противоречие между спросом и предложением ресурсов в Северном Китае, Северо-Западном Китае, Центральном Южном Ляонине, Шаньдуне и некоторых прибрежных городах. По оценкам, к 2030 г. объем воды на душу населения в Китае может упасть на 20%. Нехватка воды стала важным фактором, ограничивающим устойчивое экономическое и социальное развитие Китая [5].

Для решения описанных проблем может быть предложен ряд технических мер.

Поскольку наибольший расход воды приходится на сельское хозяйство, необходимо повысить эффективность водопользования в нем. Следует рассмотреть возможность снижения потерь воды на полях из-за испарения и утечки в грунт благодаря организации дренажных систем, использованию капельного орошения. Сохранению воды в грунте способствуют также мероприятия по лесовосстановлению.

В сельских районах следует развивать локальные очистные сооружения для сточных вод, чтобы снизить сбросы неочищенных стоков и тем самым уменьшить нагрузку на экосистемы и на водопроводные очистные сооружения. Следует шире внедрять повторное использование очищенных сточных вод для орошения и технических нужд, уделяя внимание их дезинфекции.

Более широкое внедрение систем оборотного водоснабжения и наилучших доступных технологий необходимо в промышленности. С этой целью перспективно использование систем мембранной фильтрации для очистки технической воды и реагентов [6].

Для восполнения нехватки пресной воды следует шире внедрять механизмы очистки речной и морской воды методом мембранной фильтрации и обратного осмоса.

Важно совершенствовать механизмы управления водными ресурсами. Это включает в себя мониторинг качества природных и сточных вод для своевременного выявления и ликвидации загрязнения природной воды, восполнения запасов воды в водных объектах.

Решение такой важной проблемы невозможно без координации работы многих ведомств, информирования и обучения населения, выполнения масштабных проектов по переброске воды с юга на север [7, 8] за счет государственного финансирования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Жан Даоцзын. Инженерная гидрология. Пекин: Китайская водная охрана и гидроэнергетический пресс, 2000:2-11
2. Он Чжун. Физическая география. Пекин: Китайская водная охрана и гидроэнергетический пресс, 1990:91-92.
3. Фэн Гужан. Влияние водной активности на региональные гидрологические экосистемы. Пекин: пресса высшего образования, 2020.
4. Ван Хаофан, Цзо Чжунго. Оцените новую модель устойчивого развития водных ресурсов. Гидроэнергетическая наука, 2002, 20(03):7-9.
5. Митина Н.Н., Чжоу Чаоин, Шумакова Е.М. Современное состояние водных ресурсов и водного хозяйства Китайской народной республики. Инновации и инвестиции. N 6, 2022.
6. Rögener F., Lednova Yu.A., Andrianova M.Yu., Lednov A.V. Sustainable stainless steel – a review on acid regeneration systems for application in continuous pickling lines. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2019, 17(2), 38-48.
7. За последние 10 лет первая очередь восточной линии мегапроекта по переброске воды с юга север в Китае принес пользу 68 млн человек (Источник: Агентство Синьхуа) 16/11/2023 URL: <http://russian.people.com.cn/n3/2023/1116/c31518-20097911.html>
8. Объем инвестиций в проекты водного хозяйства в Китае достиг рекордного уровня в январе-августе 2023 года (Источник: Агентство Синьхуа 08:33.14/09/2023) URL: <http://russian.people.com.cn/n3/2023/0914/c31518-20071663.html>

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

*Цель работы* состоит в анализе технологий обеззараживания питьевой воды, применяемых в мире, с целью предоставления рекомендаций для Китая.

Основными технологиями дезинфекции, широко применяемыми на крупных водопроводных станциях в мире, являются: обработка активным хлором (ОАХ), озонирование, ультрафиолетовое облучение (УФО). Первые два метода относятся к химическим и основаны на разрушении главным образом внешних структур микробов за счет окислительного действия дезинфектантов (табл. 1), третий относится к физическим и основан на воздействии излучения на нуклеиновые кислоты.

ОАХ реализуется разными реагентами. Возможно использование сжиженного газа хлора  $\text{Cl}_2$ , гипохлоритов натрия и кальция, хлораминов (получаемых путем взаимодействия свободного активного хлора и аммиачной воды). В результате применения ОАХ в воде образуется свободный активный хлор (растворенный  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ) или связанный активный хлор (хлорамины), которые работают как окислители, благодаря чему оказывают дезинфицирующее действие. Микробиологическая безопасность и водопроводных сетях обеспечивается остаточным концентрациям активного хлора в очищенной воде.

Таблица 1 – Стандартные потенциалы  $E$  ряда дезинфектантов [1, 2]

Дезинфектант	Реакция	$E$ , В	Примечания
Хлор (Газ)	$\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	+1,36	
Гипохлорит	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0,84	Щелочная Среда
	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,48	Кислая Среда
	$\text{HClO} + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \frac{1}{2} \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+1,63	Кислая Среда
Озон	$\text{O}_3(\text{r}) + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	+1,24	Щелочная Среда
	$\text{O}_3(\text{r}) + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,08	Кислая Среда
Хлорамины	$\text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + \text{OH}^- + \text{NH}_3$	+0,74	Щелочная Среда
	$\text{NH}_2\text{Cl} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + \text{NH}_4^+$	+1,45	Кислая Среда
Кислород	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$	+1,23	Кислая Среда
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \leftrightarrow 4\text{OH}^-$	+0,40	Щелочная Среда
Диоксид Хлора	$\text{ClO}_2(\text{aq}) + e \leftrightarrow \text{ClO}_2^-$	+0,95	
	$\text{ClO}_2 + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{HClO}_2$	+1,27	Кислая Среда
Феррат(VI)	$\text{FeO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e \leftrightarrow \text{FeO}(\text{OH}) + 5\text{OH}^-$	+0,72	Щелочная Среда
	$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,90	Кислая Среда

В табл. 1 приведены стандартные окислительно-восстановительные потенциалы как для широко применяемых дезинфектантов, так и для новых реагентов, которые начинают использоваться на небольших сооружениях (диоксид хлора, феррат). Видно, что потенциалы существенно зависят от рН воды, а различия по их значениям между реагентами не столь велики, и следовательно выбор реагента обусловлен иными соображениями – его временем жизни в воде, побочными продуктами дезинфекции (в том числе пахнущими), безопасностью получения и хранения, наконец, стоимостью.

На рубеже 21 века стандарты качества питьевой воды в Европе и США, а затем и в других странах, были пересмотрены в сторону ужесточения требований к содержанию побочных продуктов дезинфекции (ДБП). Еще в 1970-х годах была показана мутагенная и канцерогенная активность продуктов, образующихся при реакции активного хлора с природными

органическими веществами (NOM) воды. Это большой спектр соединений, нормативы установлены для некоторых низкомолекулярных веществ. Согласно стандарту US EPA (1996) суммарное содержание тригалометанов в питьевой воде не должно превышать 80 мкг/л, при этом суммарная концентрация пяти DBP (моноклор-, дихлор-, трихлор-, монобром- и дибромукусной кислоты) не должна превышать 60 мкг/л. Согласно стандартам Евросоюза (1998г.), ПДК для суммы тригалометанов принята на уровне 150 мкг/л до 2008 года и 100 мкг/л после 2008 года [3]. Новые стандарты привели к необходимости пересмотра технологий водоподготовки – перехода от прехлорирования к преозонированию, изменению условий коагуляционной и фильтрационной очистки для снижения концентрации NOM, внедрение ультрафиолетового облучения.

Выбор технологий очистки определяется типом вод источника и химическим составом воды в нем. В Китае около 65% водопроводных станций приходится на малые и средние, производительностью менее 100 000 м<sup>3</sup>/сут., а 35% на крупные, производительностью более 100 000 м<sup>3</sup>/сут. Источниками водоснабжения являются подземные и речные воды, и в большинстве своем они обладают немалой минерализацией с удельной электропроводностью от 100 до 1500 мкСм/см (810 мкСм/см соответствует 518 мг/л растворенных ионов (TDS)) с преобладающим ионом кальция. Такие условия способствуют естественной коагуляции NOM в речной воде, так что концентрация их сравнительно невелика: в большинстве случаев менее 3 мгТОС/л, в целом не более 6.5 мгТОС/л. Повышение ТОС вниз по течению рек связывают главным образом со сбросами сточных вод, которые среди различных загрязнителей содержат трудноудаляемые низкомолекулярные органические соединения [4, 5] и токсичные металлы.

Дезинфекция воды на водопроводных станциях Китая проходила тот же путь, что и в других странах. До 2008 года были станции, где использовали коагуляционную очистку речной воды с отстаиванием и дезинфекцией газообразным хлором, затем его хлор постепенно стали заменять на гипохлорит натрия. В Пекине вода очищается методом коагуляции (трихлоридом железа) с осаждением и фильтрацией, озонируется, фильтруется через ГАУ и дезинфицируется гипохлоритом натрия [7].

Во время эпидемии ковид-19 требования к дезинфекции воды были усилены. Согласно стандарту GB-5749-2006 вода должна было обеззараживаться не менее 30 минут, концентрацию свободного хлора в очищенной воде поддерживали около 0,3-0,4 мг/л, а в кране остаточный свободный хлор должен был быть не меньше 0,05 мг/л [6]. Однако о более высоких концентрациях свободного активного хлора (0,4-1,2 мг/л) в водопроводной воде нескольких городов Китая сообщалось еще в 2015 году [8].

В заключение можно отметить, что ОАХ во многих случаях является необходимым этапом обработки водопроводной воды. В Китае возможно более широкое внедрение ультрафиолетового облучения в качестве дополнительного этапа дезинфекции. Благодаря постоянному развитию науки и техники и совершенствованию требований по защите окружающей среды в будущем станут доступны более эффективные, безопасные и экологически чистые технологии дезинфекции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Rajasekharan V.V., Clark B.N., Boonsalee S. and Switzer J.A. Electrochemistry of Free Chlorine and Monochloramine and its Relevance to the Presence of Pb in Drinking Water. Environmental Science and Technology. July 2007.
2. Равдель А.А., Пономарева А.М. Краткий справочник физико-химических величин. СПб: 2009, 323с.
3. Nicolau A.D., Golfinopoulos S.K., Lekkas T.D., Kosopoulou M.N. DPB levels in chlorinated drinking water: effect of humic substances. Env. Monitoring and assessment 93:p.301-319, 2004
4. The Nature Conservancy, China's Urban Water Blueprint. 2016, Beijing, China. 68 p. URL: nature.org/waterblueprint.
5. Mengjie Liu, Nigel Graham, Wenyu Wang, Renzun Zhao, Yonglong Lu, Menachem Elimelech, Wenzheng

Yu. Spatial assessment of tap water safety in China and associated health impacts. January 6th, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1166651/v1>

6. Zhigang Li, Gaoferi Song, Yonghong Bi, Wei Gao, Anen He, Yao Lu, Yawei Wang, and Guibin Jiang. Occurrence and Distribution of Disinfection Byproducts in Domestic Wastewater Effluent, Tap Water, and Surface Water during the SARS-CoV.2 Pandemic in China. *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 4103.4114.

7. Mei-Quan Cai & Rong Wang & Li Feng & Li-Qiu Zhang. Determination of selected pharmaceuticals in tap water and drinking water treatment plant by high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometer in Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res* (2015) 22:1854–1867. DOI 10.1007/s11356-014-3473-8

8. Yang Pan, Xiangru Zhang, Jianping Zhai. Whole pictures of halogenated disinfection byproducts in tap water from China's cities. *Front. Environ. Sci. Eng.* 2015,9(1):121–130. DOI 10.1007/s11783-014-0727-0

УДК 628.1.033

Ван Цюньчжо, М.Ю. Андрианова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ПОДХОДЫ К СТАНДАРТИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

*Цель работы* – анализ развития нормативов качества питьевой воды и выбор рекомендаций по их применению.

Первые в мире нормы качества воды были разработаны в США в 1914 г. Первые в России нормы были разработаны медицинским советом в 1916 г. После революционных событий только в 1937 г. в СССР был утвержден временный стандарт качества питьевой воды, подаваемой в городскую сеть: это были вторые в мире и первые в Европе стандарты питьевой воды, включавшие мутность, цветность, запах и остаточный хлор [1]. Некоторые показатели нормировались строже нынешних: средняя мутность – не более 1 мг/л по каолину, средняя цветность – не более 15° (по СанПиН 1.2.3685-21, табл. 3.1 – не более 1,5 мг/л по каолину и не более 20°) [1, 2].

В настоящее время в основу требований к качеству питьевой воды положены критерии, сформулированные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в середине 20 века: питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами [1]. Рекомендации ВОЗ (WHO Guidelines for drinking water quality, GDWQ) [3] издаются с 1958 г. и постоянно дополняются (см. табл. 1 с примерами из последнего издания).

В Евросоюзе до недавних пор действовала Директива по питьевой воде (Drinking Water Directive (98/83/EC), принятая в 1998 г., регулярно обновлявшаяся и действовавшая до 12.01.2023 г. Она содержала ПДК, рекомендации по проведению мониторинга и другую информацию. Ей на смену пришла Директива 2020/2184 по качеству воды, предназначенной для потребления людьми (Directive EU 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption [4]), которая по-прежнему содержит приложение с ПДК, но в ее основной текст внесены разделы об оценке риска и управлении рисками здоровью на уровне бассейна реки, водозаборов, водопроводной сети [4].

В США главным федеральным законом является Акт о безопасной питьевой воде (Safe Drinking Water Act, SDWA), принятый в 1974 году. В соответствии с ним Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) обязано устанавливать стандарты качества питьевой воды (National Primary Drinking Water Regulations, NPDWRs) для загрязнителей, которые могут вызвать неблагоприятные последствия для здоровья населения, а также контролировать соблюдение их во всех штатах, населенных пунктах и у поставщиков воды населению (кроме частных скважин, снабжающих менее 25 человек) [5].

В рамках NPDWRs существуют два норматива по каждому показателю: максимальный уровень загрязнителя (maximum contaminant level, MCL) и целевой максимальный уровень загрязнителя (maximum contaminant level goal, MCLG). Второй норматив ниже первого и не обязателен, однако MCL разрабатывается как можно ближе к MCLG с учетом наилучших доступных технологий (НДТ) и экономической эффективности.

Проблемой старых водопроводов в США и Европе являются свинцовые трубы. В США в 1991 г. было принято Правило о свинце и меди (Lead and Copper Rule, LCR) [6], регламентирующее уровень свинца и правила отбора проб воды для его обнаружения. Однако водный кризис города Флинт показал, что формальное следование LCR не выявляет реальный уровень загрязнения воды [7]. Нормативы по свинцу в водопроводной воде: LCR – 15 мкг/л (планируется снизить до 10 мкг/л), ЕС – 10 мкг/л до 2036 г., 5 мкг/л после [4], Россия 10 мкг/л [2], ВОЗ 5 мкг/л [3], Китай [8, 9] и Япония [10] – 10 мкг/л.

Таблица 1 – Выборочные показатели качества питьевой воды в ряде стран мира

Показатель	Россия	ВОЗ	ЕС	США	Япония	Китай
Тригалометаны, мг/л	–	1	0,1	0,08	0,1	–
Хлороформ, мг/л	0,06	0,3	–	0,07	0,06	0,06
1,2-дихлорэтан, мг/л	0,02	0,03	0,003	0,005	(0,004)	0,03
Трихлорэтилен, мг/л	0,005	0,02	0,01 суммарно	0,005	0,01	0,07
Тетрахлорэтилен, мг/л	0,005	0,04		0,005	0,01	0,04
ССl <sub>4</sub> , мг/л	0,002	0,004	–	0,005	0,002	0,002
Фенол, мг/л	0,001	–	–	–	0,005	0,002
Цианид CN <sup>-</sup> , мг/л	0,07	(0,07)	0,05	0,2	0,01	0,05
Сурьма, мг/л	0,005	0,02	0,010	0,006	(0,015)	(0,005)
Бериллий, мг/л	0,0002	0,012	–	0,004	–	(0,002)
Свинец, мг/л	0,010	0,005	0,010	0,015	0,01	0,01
Мышьяк, мг/л	0,01	0,01	0,010	0,010	0,01	0,01
Селен, мг/л	0,01	0,04	0,02	0,05	0,01	0,01
Сухой остаток, мг/л	1000	–	2500 мкСм/см	500	500	1000
pH	6–9	6,5–8,5	6,5–9,5	6,5–8,5	5,8–8,6	6,5–8,5
ООУ, мг/л	5	–	–	–	5	–
Цветность (град.)	20	15	–	15	5	15
Мутность (НЕМ)	2,6	0,5 (1)	0,3 (1)	0,3 (1)	2	1(3)

В России в настоящее время действует СанПиН 1.2.3685-21 [2], объединивший множество отдельных документов, регламентирующих качество различных сред, в том числе и воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Список ПДК для них насчитывает несколько сотен веществ, однако для регулярного контроля в системе водоснабжения главным санитарным врачом утверждается перечень из нескольких показателей.

В Китае стандарт качества питьевой воды GB 5749 утверждался в 1985, 2006 и 2022 гг. [8]. GB 5749-85 включал 35 обязательных показателей, GB 5749-2006 – 106 (в его списке литературы – стандарты ВОЗ, ЕС, США, России, Японии). Ныне действующий GB 5749-2022 содержит 97 обязательных показателей; из предыдущей версии удалено 13 показателей, число необязательных показателей увеличилось с 28 до 55 [8]. По сравнению с 2006 г., в GB 5749-2022 были ужесточены требования по pH (было 6,5-9,5, стало 6,5-8,5), мутности (норма 1 (допускалось до 3 НЕМ), на малых станциях 3 (до 5 НЕМ), а в 2022 стало 1 (до 3 НЕМ на малых станциях).

Перед началом или в начале 21 века в стандарты США и ЕС (в Китае в 2006 г., в Японии не позже 2015 г.) были включены побочные продукты дезинфекции (disinfection by-products, DBP): тригалометаны (ТГМ) и другие низкомолекулярные органические галогенпроизводные.

США, ЕС и Япония имеют норматив по сумме ТГМ, который ниже норматива ВОЗ примерно в 10 раз. Аналогичная ситуация и с нормативами по отдельным хлор- и бромсодержащим ДВР (см. табл. 1). Согласно GB 5749-2022 вычисляют отношение концентрации каждого ТГМ к его нормативу, и их сумма не должна превышать 1. Нормативы для ТГМ в Китае: хлороформ 0,06, дибромхлорметан 0,1, дихлорбромметан 0,06, трибромметан (бромформ) 0,1 мг/л. При концентрации каждого ТГМ равном его индивидуальному ПДК, сумма составит 0,32 мг/л, а сумма отношений составит 4.

В России нормативы по отдельным ТГМ такие же или ниже (хлороформ 0,06 (1 класс), дибромхлорметан 0,03 (2 класс), дихлорбромметан 0,03 (1 класс), трибромметан 0,1 мг/л (2 класс)), и отсутствует требование к их суммарной концентрации. При концентрации каждого ТГМ равном его индивидуальному нормативу, сумма составит 0,22 мг/л. При этом в предыдущей версии (СанПиН 2.1.4.1074-01) было правило проверки суммы отношений концентрации к ПДК для всех веществ 1 и 2 класса опасности; сумма не должна была превышать единицу. В ныне действующем документе это требование для питьевой воды прописано только для радионуклидов [2].

В целом из проведенного анализа видно, что по отдельным показателям (свинец, бериллий, селен, сурьма, цианиды, рН, сухой остаток, ООУ) есть заметные различия в документах разных стран. В ЕС в дополнение к ПДК в действие вступает новый подход на основе оценки риска неблагоприятного воздействия на здоровье, которая должна выполняться раз в шесть лет. Из изученных данных видно развитие нормативной базы США, ЕС, Японии, Китая и России в сторону ужесточения ПДК ряда веществ в водопроводной воде, что неизбежно влечет за собой изменение технологий водоподготовки. ПДК по тригалометанам для изученных стран ниже (то есть более строгие), чем указано в нормативе ВОЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Чамаев А. Прошлое, настоящее и будущее аналитических лабораторий. Вода Magazine, 2015, №3 (91).
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
3. A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality, second edition © World Health Organization 2021 URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/350981/9789240023642-eng.pdf?sequence=1>
4. EUR-Lex. Document 32020L2184. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
5. EPA. National Primary Drinking Water Regulation Table. URL: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table>
6. EPA. Drinking Water Requirements for States and Public Water Systems. Lead and Copper Rule. URL: <https://www.epa.gov/dwreginfo/lead-and-copper-rule>
7. Erik Olson, Kristi Pullen Fedinick. What's in your water? Flint and beyond. NRDC, 2016. 42p. URL: <https://www.nrdc.org/sites/default/files/whats-in-your-water-flint-beyond-report.pdf>
8. Jiayi Han, Lan Zhang, Bixiong Ye, Shenghua Gao, Xiaoyuan Yao, Xiaoming Shi. The Standards for Drinking Water Quality of China (2022 Edition) Will Take Effect. China CDC Weekly, 2023, 5(13): 297-300. doi: 10.46234/ccdcw2023.054
9. Code of China. Position: Chinese Standard in English/GB 5749-2022 URL: <https://www.codeofchina.com/standard/GB5749-2022.html>
10. Hiroshi Wakayama. Revision of drinking water quality standards in Japan. URL: <https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn0264pdf/ks0264011.pdf>



## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УФ СВЕТОДИОДОВ В ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ

Большое значение имеет изучение новых технологий, достаточно надежных для решения проблем, связанных с достижением целей устойчивого развития (ЦУР) [1]. Цель 6 в области устойчивого развития сосредоточена на санитарии и чистоте воды. Это одна из 17 ЦУР, утвержденных на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в Нью-Йорке 25 сентября 2015 г. вместо прежних Целей развития тысячелетия (ЦРТ).

Необходимым этапом получения чистой воды является ее дезинфекция. В работе крупных водопроводных сооружений применяются три основных метода обеззараживания воды: обработка активным хлором, озонирование и ультрафиолетовое (УФ) облучение, хотя также исследуются другие методы [2].

УФ технологии применяют на водопроводных станциях мира с 1980-х годов. Они имеют ряд преимуществ (по сравнению с химическими методами), такие как безреагентность, безвредность при передозировке, эффективность в отношении цист простейших, спор бактерий и вирусов [1, 3]. К недостаткам относится отсутствие эффекта последствия, влияние мутности и цветности на эффективность обеззараживания, ослабление излучения в толще воды, что требует тщательной проработки реакторов для работы в потоке.

В настоящее время широко применяются ртутные лампы (низкого и среднего давления) и амальгамные лампы. В результате их разрушения при эксплуатации и утилизации токсичный металл может попасть в окружающую среду. Конвенция Минамата (которую Россия подписала в 2014 году, но не ратифицировала) с 2020 г. запрещает производство, экспорт и импорт нескольких видов ртутьсодержащей продукции, в том числе бытовых термометров и компактных люминесцентных ламп [4]. УФ лампы для дезинфекции под этот запрет пока не попадают.

После разработки С. Накамура диода синего света высокой яркости на основе нитрида галлия в 1993 г. стало возможным появление светодиодов (light-emitting diode – LED) с УФ свечением. УФ-светодиоды вырабатывают излучение на одной длине волны в виде узкой полосы в пределах нескольких нанометров. Благодаря их компактности (см. табл. 1) существует возможность комбинировать в одной лампе диоды с разными длинами волн при намерении получить синергетический эффект.

*Цель работы* заключалась в изучении возможности применения УФ светодиодов в дезинфекции воды. Для этого был произведен анализ технических характеристик производимых в настоящее время УФ-ламп (ртутной, амальгамной, диодной), исследован дезинфицирующий эффект светодиода, рассмотрены конструкции камеры для облучения диодами в потоке.

Анализ научной литературы и данных с сайтов производителей [1, 3, 5, 6] показал, что ртутные лампы низкого давления и амальгамные лампы преобразуют в бактерицидное УФ-излучение до 40% потребляемой мощности, ртутные лампы высокого давления – до 12%, УФ светодиоды – до 2% (ведутся разработки для его увеличения). Огромным преимуществом является возможность производить ртутные лампы высокой мощности: до 20 000 Вт – лампы среднего давления, до 100 Вт – лампы низкого давления, до 1000 Вт – амальгамные лампы низкого давления. Характеристики отдельных ламп приведены табл.1. Например, УФ лампы среднего давления марки Verson имеют размеры от 230 до 600 мм, диаметр 22 мм, мощность от 970 до 4000 Вт [5]. Размеры амальгамных УФ ламп низкого давления UVL – от 436 до 1554 мм, диаметр 22 мм, мощность от 36 до 320 Вт [5] (табл. 1).

Таблица 1 – Технические характеристики некоторых УФ-ламп [4, 5, 9]

Тип лампы	Ртутная лампа		Амальгамная низкого давления UVL 1965	Диод JZ-275NM3535
	УДВ-2/1 тип 3 (низкого давления)	Berson B410H среднего давления		
Размеры, мм	1000×115×174	330×22×22	357×23×23	3,6×3,6×2,0
Длина волны, нм	254	254 (несколько полос)	254 (несколько полос)	275
Поток излучения	–	–	15	2...6 мВт
Напряжение, В	220	–	–	5–8
Мощность, Вт	30	2100	45	200–320 мВт
Срок службы, час	12 000	2000	16 000	3 000



Рис. 1. Фрагмент опытной с УФ диодами BR60QF275S04X

Для проверки дезинфицирующего эффекта диода, заявленного производителем, были выполнены эксперименты с наиболее мощным УФ диодом производства фирмы UV-ON Республики Корея [7]. Производитель выпускает серию УФ-С диодов с размерами 6,0×6,0×1,8 мм с мощностью излучения до 50 мВт. Для опытов был выбран наиболее мощный диод BR60QF275S04X и создана опытная излучающая установка из 6 диодов, позволяющая включать и выключать каждый по отдельности (рис. 1). Измеренный максимум спектральной плотности потока излучения диода (273,88 нм) соответствовал величинам, заявленным производителем (270–280 нм). Подробно опыты по дезинфекции описаны в [8], они проводились на лабораторном штамме кишечной палочки. Излучения от шести диодов в течение 1 минуты было достаточно для полного обеззараживания более 50 000 КОЕ, посеянных на чашку Петри с LB-агаром диаметром 9 см. При тех же условиях посева облучение одним диодом дало следующие результаты: в течение 1 минуты снизило количество жизнеспособных клеток до 40 КОЕ/чашку (то есть достигнута 3-log инактивация), в течение 10 минут до 2 КОЕ/чашку (4-log инактивация). Расчеты на основании последующих опытов показали, что доза излучения для полной инактивации кишечной палочки на поверхности агара составила 81 мДж/см<sup>2</sup>, для 3-log инактивации (обязательной для обработки питьевой воды) – 54 мДж/см<sup>2</sup>. Ртутные лампы обеспечивают 3-log инактивацию кишечной палочки при дозе 6,6–11,0 мДж/см<sup>2</sup> [1, 3]. Полученные нами более высокие значения дозы можно объяснить как различиями в чувствительности штаммов микроорганизма, так и в длине волны. Сходный результат, однако с меньшими дозами, описан в [9]: дозы УФ-излучения для 3-log инактивации кишечной палочки на поверхности агара оставили – для ртутной лампы низкого давления 6 мДж/см<sup>2</sup>, для диодов 275 нм – 8 мДж/см<sup>2</sup>, для диодов 255 нм – 10 мДж/см<sup>2</sup>.

На данный момент известно о разных конструкциях УФ-диодных установок для использования в протоке. Для дезинфекции воды выпускаются проточные насадки на кран. Например, насадка OEM DF3185Y-UV140 (Китай) имеет длину 124 и диаметр 35 мм, рассчитана на расход воды 1,5 л/мин (0,09 м<sup>3</sup>/ч), мощность входящих в нее УФ-С светодиодов 140 мВт, следовательно обработка 1 л воды потребляет 5,6 Дж излучения УФ-С [10], что соответствует затратам энергии извне на два порядка больше. Производительность насадки уступает производительности установки со ртутной лампой УДВ-2/1 (тип 3, без блока химической промывки), составляющей 2,2 м<sup>3</sup>/ч (энергозатраты 49 Дж/л).

В работе [11] изучали реактор с внешними размерами 100×50×100 мм и расположенным внутри змеевидным каналом прямоугольного сечения. Форма канала была выбрана для создания вторичного потока и улучшения перемешивания микробов. Исследовалось влияние расположения 10-и светодиодов (273 нм, 10 мВт излучения) на дезинфекцию от *E. coli* в воде, для чего были рассмотрены поле скоростей, траектория частиц и распределение интенсивности излучения. Для наилучшего варианта расположения диодов была достигнута 5,2-лог инактивация при дозе 15,6 мДж/см<sup>2</sup> и скорости потока 240 мл/мин.

В работе [12] сконструирована установка в виде кварцевой трубы, снаружи которой располагаются диоды (275 нм, 100 мВт излучения каждый, всего 40 диодов (диаметр трубы 015 см) или 100 диодов (диаметр трубы 40 см) в установке). Опыты выполнялись для разработки дезинфицирующего устройства для водопроводной станции

Таким образом, приведенные результаты могут быть учтены при проектировании реакторов для обеззараживания воды. Однако в описанных экспериментах используются диоды с различными техническими характеристиками, а также различные конструкции облучателей. Это усложняет сопоставление результатов, полученных разными авторами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. MacIsaac S.A., Rauch K.D., Prest T. et al. Improved disinfection performance for 280 nm LEDs over 254 nm low-pressure UV lamps in community wastewater: Scientific Reports 13, 7576 (2023). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34633-7>
2. Егорова А.А., Чишти М.М., Андрианова М.Ю. Обеззараживающее действие высоковольтных разрядов на воду. Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. 4–10 апреля 2022 г. Ч. 1. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022, С.329-332.
3. Васильев А.И., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Собур Д.А., Соколов Д.В. Технологии УФ обеззараживания для обработки воды, воздуха и поверхностей. Светотехника. 2017, №5, с. 6–11.
4. Minamata Convention on Mercury URL: <https://minamataconvention.org/en> (Доступ 03.2024)
5. UVL – Бактерицидные ультрафиолетовые лампы с использованием собственной технологии J-Live Power+. URL: [uvl.ru](http://uvl.ru) (Доступ 03.2024)
6. inPink.ru УФ-Диод JZ-275NM3535 URL: <https://inpink.ru/product/33047346660> (Доступ 03.2024).
7. UV:ON. URL: [www.uvon.co.kr](http://www.uvon.co.kr) (Доступ 03.2020).
8. Краснова С.В., Андрианова М.Ю. Обеззараживающий эффект ультрафиолетовых светодиодов. Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции, 3–9 апреля 2023 г. Ч. 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023, С. 262–264.
9. Bowker C., Sain A., Shatalov M., Ducoste J., Microbial UV fluence-response assessment using a novel UV-LED collimated beam system: Water Research, article. Pages 2011-2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.005>
10. Good very. UV-C LED Насадка OEM для обеззараживания воды. <https://goodvery.ru/item/1600090181751> (Доступ 03.2024).
11. Chien-Ping Wang, Jun-You Liao. Effect of UV-C LED arrangement on the sterilization of *Escherichia coli* in planar water disinfection reactors. Journal of Water Process Engineering. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104399>.
12. Autin O., Goslan E.H. and Hassard F. Application of Ultraviolet Light-Emitting Diodes (UV-LED) to Full-Scale Drinking-Water Disinfection, Water, 2019, 11(9):1894. DOI:10.3390/w11091894.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ  
ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

*Целью исследования* является рассмотрение нормативно-правовой базы, посредством которой проводится правовое регулирование выбросов в атмосферу парниковых газов и определение основных контрольных механизмов, содействующих минимизации негативного воздействия этих газов на климат.

В рамках сохранения биосферы Земли международные организации не одно десятилетие борются с проблемой загрязнения атмосферы и планового регулирования количества выбросов парниковых газов. Первым международным климатическим соглашением, направленным на снижение антропогенной нагрузки на атмосферу Земли стала Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК), вступившая в силу в марте 1994 г.

Целью конвенции являлось объединение общих усилий по предотвращению экологически опасных изменений климата биосферы Земли. Была разработана концепция по определению «результата о стабилизации» объема парниковых газов на промышленных предприятиях и прочих объектах, имеющих подобные риски, до безопасного уровня. Также была сформулирована приоритетная международная задача – борьба с выбросами углекислого газа, метана и окиси азота, которые являются одними из основных факторов изменения состояния и состава атмосферы [1].

В 1997 г. в Киото прошла третья конференция сторон РКИК, результатом которой стало принятие Киотского протокола [2]. Данный протокол содержал четкие требования к общему объему выбросов парниковых газов, допустимому на территориях стран, которые характеризуются средним и высоким уровнем индустриализации. Для того, чтобы протокол смог вступить в свою законную силу, он должен был быть ратифицирован как минимум 55 странами, у которые зафиксировано не менее 55% мировых выбросов в атмосферу на 1990 г.

Данное условие было достигнуто только после ратификации протокола Российской Федерацией (РФ), так как остальные страны, такие как США и Австралия, которые имели большую долю выбросов, отказались от подписания протокола, ссылаясь на то, что это требование снизит их экономическое развитие.

Официально ратифицирован Россией Киотский протокол был в 2004 г. после подписания Президентом федерального закона «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата» [3].

В 2013 г. Президент России подписал Указ Президента «О сокращении выбросов парниковых газов» №752 [4]. Данный Указ содержал положение о необходимости разработки и утверждения плана мероприятий, обеспечивающих регламентированный объем выбросов парниковых газов. При этом к плану мероприятий предъявляются определенные требования:

- во-первых, необходимо утвердить четкую систему, посредством которой будет учитываться общий объем выбросов;
- во-вторых, основой плана должно стать систематическое проведение анализа экологической ситуации, а также прогнозирование. При этом должен применяться секторальный подход;
- в-третьих, план должен включать разработку и внедрение мер государственного регулирования общего объема выбросов на промышленных предприятиях.

Данный план на практике доказал свою эффективность. Так, если в 2014 г. совокупность всех выбросов парниковых газов была оценена на уровне 3314,29 млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента, то благодаря выполнению мероприятий согласно плану в 2020 г., общие показатели снизились до 2486 млн т, что составляет 65% от уровня 1990 г. [5].

Следующим шагом для регулирования мировых выбросов парниковых газов стало принятое в Париже в 2015 г. Парижское соглашение, которое пришло на смену Киотскому протоколу. Требования данного соглашения направлены, прежде всего, на удержание прироста глобальной средней температуры Земли до 1,5 °С к 2030 г. по сравнению с доиндустриальным уровнем и на снижение выбросов парниковых газов в атмосферу, по условиям которого каждая страна должна самостоятельно принять собственные меры по снижению этих выбросов. Российская Федерация ратифицировала данное соглашение 23 сентября 2019 года и обязалась сократить выбросы на 30% к 2030 г. от уровня 1990 г., учитывая поглощающую способность лесов.

Для расчета объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации разрабатывают специальные Методические рекомендации. Чтобы точно рассчитать объем всех выбросов необходимо, чтобы каждый входящий в Российскую Федерацию субъект провел на своей территории инвентаризацию объектов, которые при осуществлении своей деятельности могут стать источниками выбросов парниковых газов.

Основой Методических рекомендаций является Распоряжение Минприроды 15-р, которое было утверждено в 2015 г. [6]. При этом рекомендации устанавливают, что инвентаризация должна проводиться только компетентными организациями. К таковым относятся Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

В Российской Федерации выброс углерода строго контролируется государством. Этот контроль регламентируется Указом Президента от 04.11.2020 №666 «О сокращении выбросов парниковых газов» [7]. Если следовать плану, то в будущем, к 2030-му году, прогнозируется снижение общего количества выбросов до 70% от уровня 1990 г.

Среди федеральных законов РФ выделяют Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» №296, принятый в июле 2021 г. [8]. В соответствии с ним выбросы парниковых газов включены в государственный учет. Федеральный закон №296 определяет основы правового регулирования отношений в хозяйственной и прочей деятельности, которая сопровождается выбросами парниковых газов на территории Российской Федерации.

Правило распространилось на континентальный шельф экономической зоны России и на российскую зону Каспийского моря. Под правовое регулирование данного закона попадают все предприятия и организации, которые в процессе своей деятельности производят загрязняющие атмосферу выбросы. Также закон содержит принципы, ограничивающие выбросы, требования к проведению мониторинга и составлению отчетности, правила осуществления контроля для государственных органов.

Результаты государственного учета представляют собой точную оценку произведенных в атмосферу выбросов парниковых газов в определенный период. Эта оценка в последствие поможет более точно определить главные источники выбросов парниковых газов, а также выработать меры, которые помогут снизить объем этих выбросов.

В конечном итоге, процесс государственного учета выбросов позволит в дальнейшем более эффективно осуществлять контроль над выбросами парниковых газов, а также предоставит отчетность по результатам международным организациям по климатическим изменениям.

На сегодняшний день оптимального снижения выбросов парниковых газов можно достичь путем замены капитала, накопленного еще во времена СССР, новым капиталом, который будет инвестирован в технологии с более совершенными характеристиками энергоэффективности и углеродоемкости, соответствующими требованиям уровня III тысячелетия. Для этого необходимо провести масштабное внедрение систем экологического менеджмента [9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Радина С.П. Киотский протокол. К вопросу о глобальном изменении климата // Вестник РУДН. Серия: Международные отношения. 2005. №1. – 123 с.
2. Киотский протокол к Рамочной Конвенции организации объединенных наций об изменении климата. URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/kyoto.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml) (дата обращения 27.02.2024).
3. Как Россия боролась с изменением климата. Досье. URL: <https://tass.ru/info/2444355> (дата обращения 27.02.2024).
4. Указ Президента РФ от 30.09.2013 №752 "О сокращении выбросов парниковых газов". URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_152515/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152515/) (дата обращения 13.03.2024).
5. Методы и формы административно-правового регулирования выбросов парниковых газов. <https://lawinfo.ru/articles/5202/metody-i-formy-administrativno-pravovogo-regulirovaniya-vybrosov-parnikovyx-gazov> (дата обращения 13.03.2024).
6. Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 N 15-р. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/) (дата обращения 27.02.2024).
7. О сокращении выбросов парниковых газов. Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011040008> (дата обращения 13.03.2024).
8. Об ограничении выбросов парниковых газов. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_388992/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/) (дата обращения 13.03.2024).
9. Русскова И.Г. Основы экологической безопасности и устойчивого развития: Учебное пособие / СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 44 с.

УДК 656.615, 504.054

Е.А. Васильева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ПОРТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СУДОВ

С каждым годом экологическая обстановка по всему миру ухудшается из-за увеличения количества и масштаба грузоперевозок морскими путями. Обработка судов в портах является наиболее опасной стадией грузооборота, так как оказывает негативное влияние на все сферы окружающей среды: гидросферу, биосферу, литосферу, атмосферу, и техносферу.

*Цель работы* – совершенствование мер по минимизации загрязнений окружающей среды при обработке морских и речных судов в портах.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ существующих мероприятий и технологий по снижению загрязнения окружающей среды при обработке судов в портах.

Одними из основных операций по обработке судна в порту являются погрузочно-разгрузочные работы. Наибольший ущерб атмосферному воздуху, акватории и почве наносит перевалка сыпучих грузов открытым способом [1]. В настоящее время в большинстве случаев для гашения поднимающейся пыли применяются системы орошения с порталных кранов.



Рис. 1

Недостатком этой технологии является малая мобильность ввиду больших размеров и стационарной установки кранов. Взамен этой технологии рекомендуется применять усовершенствованную версию, разработанную по специальному заказу для АО «Восточный Порт» – автономная мобильная система пылеподавления, оснащенная несколькими подвижными снегогенераторами малого размера и способная эффективно работать даже

при минусовых температурах. Отличительной особенностью этой системы является возможность работать и в режиме распыления на всю площадь образующейся пыли, и в точечном режиме.

В порту также проводится бункеровка судов – заправка топливом и подача других материалов, необходимых для эксплуатации судна [2]. В ходе бункеровки существует вероятность несанкционированного разлива нефтепродуктов и попадание их на палубу, а в дальнейшем и в водную среду в результате ошибочных действий работников или несоблюдения инструкций по безопасности. Для локализации и минимизации возможных разливов и последующих загрязнений чаще всего используются боновые ограждения постоянной плавучести, устанавливаемые после обнаружения разлива [3]. В таком случае площадь загрязненной территории во много раз увеличивается, так как не всегда удается во время и оперативно установить конструкцию. Для наилучшей защиты от попадания нефтепродуктов в акваторию рекомендуется использовать боновые ограждения постоянной плавучести с сорбирующим элементом, изображенные на рис. 1. Дополнительный впитывающий элемент позволяет не только локализовать разлив, но и максимально устранить загрязнения. Использование данного приспособления на постоянной основе в портах снижает риск обширного нефтеразлива.

Для минимизации ущерба, который приносит обработка судна в порту, необходимо на законодательном уровне запретить использование вредных технологий на всех стадиях, заменив их на экологически чистые, контролировать выбросы вредных веществ и проводить мониторинг состояния окружающей среды. Это поможет сохранить здоровую экологическую обстановку не только в портах, но и в прилегающих к ним зонах [4].

Многие порты уже сейчас внедряют экологический стандарт ISO 14001 – систему экологического менеджмента, целью которой является постоянный мониторинг воздействия вредных веществ, управление рисками, работа над улучшениями [5]. Согласно стандарту, предотвращение загрязнения подразумевает устранение источника или снижение его влияния, изменение процесса, эффективность использования ресурсов, замену материалов на более экологичные, повторное использование, утилизацию и переработку. В связи с этим рекомендуется обязать все порты внедрять международный стандарт ISO 14001 для возможности единой оценки требований экологической безопасности.

Результаты исследования существующих мероприятий по снижению загрязнения окружающей среды при обработке морских и речных судов в портах позволяют сделать вывод о том, что применяемые в настоящее время меры не являются достаточными для предотвращения загрязнения портов и все еще приводят к негативным последствиям для экологической обстановки в целом.

Данное исследование показывает, что внедрение усовершенствованных технологий, устройств и правил по контролю за выбросами и сбросами вредных веществ в ходе обработки судов в порту может послужить основой для минимизации загрязнений его территорий и акваторий. В связи с этим предлагается использовать автономную мобильную систему пылеподавления для минимизации выбросов в атмосферу, боновые ограждения постоянной плавучести с сорбирующим элементом с постоянным размещением на месте бункеровки судна для недопущения разлива нефтепродуктов, а также рекомендуется обязать порты на законодательном уровне внедрять международный стандарт ISO 14001.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Валькова С.С. Сравнительная оценка эффективности и обоснование выбора варианта перегрузки груза в порту / С.С. Валькова, В.Е. Степанец, Е.В. Киселева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2021. – № 3. – С. 107–115.
2. Борисова Е.А. Разработка плана мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов АО «Порт Камбарка» / Е.А. Борисова, С.А. Красноперова // Нефтяная провинция. – 2020. – № 2(22). – С. 131–144. – DOI 10.25689/NP.2020.2.131-144.
3. Борисова И.А. Применение боновых ограждений при ликвидации разливов нефти / И.А. Борисова, К.А. Кривотулова, А. Ю. Филиппов // Аллея науки. – 2017. – Т. 3, № 15. – С. 162–164.
4. Титов А.В. Современные тенденции развития морских портов в мире и их влияние на портовую индустрию России / А.В. Титов, Д.Б. Ивашкович // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 115–124.
5. Каретников В.В. К вопросу оценки рисков на внутреннем водном транспорте Российской Федерации / В.В. Каретников, К.И. Ефимов, А.А. Сикарев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 22–27.

УДК 628.31

И.С. Моисеенко, И.Г. Русскова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

*Цель работы* – провести статистический анализ и привести доказательства необходимости очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ.

Согласно ФЗ №74 от 03.06.2006 «Водный Кодекс Российской Федерации», сточные воды – это дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади [1].

К сточным водам приравнены воды, которые взаимодействовали с последствиями жизнедеятельности человека, и, в связи с этим, подверглись различным загрязнениям, нарушив естественный экологический баланс гидросферы. Сточные воды необходимо подвергать очистке, с целью минимизации воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду, животных и растения и, в том числе, на здоровье и благополучие человека [2].

В Российской Федерации согласно государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году», был произведен сброс сточных вод в природные поверхностные водные объекты Российской Федерации в объеме 36 169,3 млн м<sup>3</sup>, что на 1,7% превысило значение 2021 г. Динамика сброса сточных вод представлена на рисунке 1 [3].





Рис. 1 Динамика сброса сточных вод с 2013 по 2022 год

При рассмотрении состава сточных вод за 2022 год – наибольшее количество сточных вод (21 627,2 млн м<sup>3</sup>) было нормативно чистыми, т.е. значения показателей количества загрязняющих веществ удовлетворяло допустимым требованиям законодательства Российской Федерации, сюда включались сточные воды, признанные нормативно очищенными, т.е. прошедшими процедуру очистки до допустимых значений показателей количества загрязняющих веществ. Объем загрязненных вод составил 11 325,8 млн м<sup>3</sup>, что составляет 31,3% от общего количества сточных вод.

В работе также приведены такие показатели степени загрязнения сточных вод, как загрязнения нефтью и нефтепродуктами и взвешенными веществами, которые рассматривались в ходе проведенного исследования. Вред от загрязнения нефтью и нефтепродуктами заключается в том, что углеводородные соединения являются консервативными загрязнителями и практически не поддаются самоочищению, могут присутствовать в различных формах и соединениях, в связи с чем сложно поддаются идентификации [4].

Влияние данных загрязнителей на окружающую среду весьма существенно, а тот факт, что более 31% сточных вод не подвергалось очистке можно сделать вывод о серьезном экологическом ущербе, связанным со сточными водами.

В сточных водах в РФ, в 2022 году было 174 689,5 т взвешенных веществ и 2657,2 т нефти и нефтепродуктов. Данные с 2013 по 2022 год по загрязненности сточных вод взвешенными веществами и нефтепродуктами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели степени загрязнения сточных вод нефтью и нефтепродуктами, а также взвешенными веществами

Загрязнитель	Нефть и нефтепродукты, т	Взвешенные вещества, т
2020	1452,9	176404,5
2021	1975,9	204576,1
2022	2657,2	174689,5

По данным таблицы видно, что количество нефти и нефтепродуктов в сточных водах растет с 2020 г., когда было зафиксировано минимальное значение в 1452,9 т. Общий прирост к 2021 г. составил 34,5 %. Что касается взвешенных веществ – их количество в сточных водах снизилось по отношению к 2021 г. на 14,6%.

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами сточных вод может привести к негативным последствиям, поскольку превышение допустимой концентрации приводит к серьезным последствиям для организма человека, поскольку нефтепродукты являются канцерогенными веществами, а также существенно влияют на эндокринную систему и желудочно-кишечный тракт [2].

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что проблема сточных вод для Российской Федерации является важной, что подтверждается поручением президента Российской Федерации в мае 2023 года: «Правительству Российской Федерации: <...>

рассмотреть вопросы о целесообразности корректировки: нормативов состава сточных вод, сбрасываемых организациями, осуществляющими промышленное производство, в централизованные системы водоотведения» [5].

Для очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов и взвешенных веществ существуют специальные методы, но тот факт, что более 31% сточных вод не подвергается очистке – приводит к необходимости изучения и модернизации данных методов, что является следующим этапом исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Водный Кодекс Российской Федерации [Текст]: федеральный закон от 03.06.2006 №74 ФЗ; в ред. от 25.12.2023 (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.12.2023)
2. Акимова А.С., Филиппова Л.С. Последствия загрязнения поверхностных и сточных вод нефтью и нефтепродуктами./ МНИЖ. 2022. №11 (125).
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в 2022 году»: URL: <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/doklad/vodnye-resursy/vozdeystvie-na-vodnye-resursy/> (дата обращения 09.03.2024)
4. Некрасова А.А., Привалов Д.М., Попова О.С., Привалова Н.М., Двадненко М.В. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду./ Научный журнал КубГАУ. 2017. №125.
5. Перечень поручений по итогам пленарного заседания съезда и встречи с членами бюро РСПП (Российского союза промышленников и предпринимателей) от 29.04.2023: URL – <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/71074> (дата обращения 10.03.2024)

УДК 625.855.2

С.С. Сафронов, В.Ю. Белоусова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АКТИВНОГО ИЛА

*Целью работы* было исследовать влияние разных режимов освещения аэротенков на их эффективность в очистке сточных вод.

Актуальность работы обусловлена широкой распространённостью применения аэротенков в качестве оборудования для очистки сточных вод [1]. В работах [2, 3] авторы обосновывают пользу применения освещения аэротенков в тёмное время суток.

Биоценоз активного ила аэротенках почти полностью гетеротрофен. В его составе присутствуют бактерии, грибы, актиномицеты, другие микроорганизмы. Присутствие фотонов света даёт возможность развиваться автотрофным водорослям, которые могут принимать активное участие в окислительно-восстановительных процессах очистки сточных вод от органических загрязняющих веществ. Результаты в этом исследовании показывают зависимость данного процесса от освещения.

Был разработан и проведен эксперимент: установили три реактора, ёмкость каждого 1,5 литра. Реакторы содержали активный ил из аэротенков завода ООО «Пивоваренная компания «Балтика»». В образце ила также присутствовали зелёные микроводоросли. Для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов активного ила подавалось ежедневно питание, исходя из соотношения БПК<sub>полн</sub> : N : P = 100 : 5 : 1. В соответствии с нашим объёмами биореакторов и активного ила это составило 1,5 г глюкозы C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, 0,15 г калия азотнокислого KNO<sub>3</sub>, 0,1 грамм натрия фосфорнокислого двузамещенного 12-водного Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>\*12H<sub>2</sub>O. Питание было одинаково для каждого из реакторов. Осуществлялась аэрация сооружений воздушными компрессорами. В целях создания разных условий освещенности реактор №1 работал в «дневном» режиме и был подвержен неконтролируемому естественному и искусственному освещению. Реактор №2 был покрыт непрозрачной плёнкой по периметру ёмкости для препятствия воздействия на него солнечных лучей и искусственного освещения. Этот реактор соответствовал «ночному» режиму

работу аэротенка. Реактор № 3 был снабжен источником искусственного освещения – лампой видимого излучения розового цвета.

В процессе эксперимента фиксировались показатели pH для каждого реактора, так как кислотно-щелочной баланс является одним из важных показателей определяющих условия жизни активного ила [4]. Измерения проводились с погрешностью 0,0005 pH иономером И-160МИ производителя ООО «Измерительная техника».

Был проведён анализ седиментационных свойств активного ила, которые оценивались по иловому индексу. Это отношение объема активного ила после отстаивания иловой смеси объемом 100 мл в течение 30 минут к 1 г сухого вещества ила. Масса сухого ила измерялась на весах Shimadzu ATX224 с погрешностью измерения 0,00005 г. Результаты представлены на рис. 2.

Повышение илового индекса свидетельствует о нарушении седиментационных свойств активного ила, вследствие чего он не успевает полностью отделиться от очищенной жидкости, и это приводит к понижению эффективности очистки [5, 6].

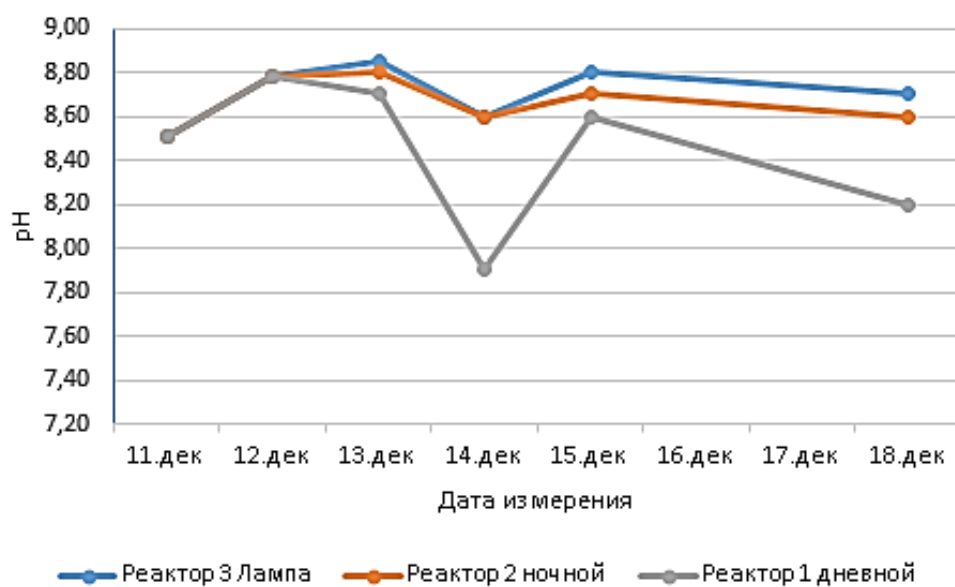


Рис. 1. Зависимость pH среды в аэротенках от времени измерений

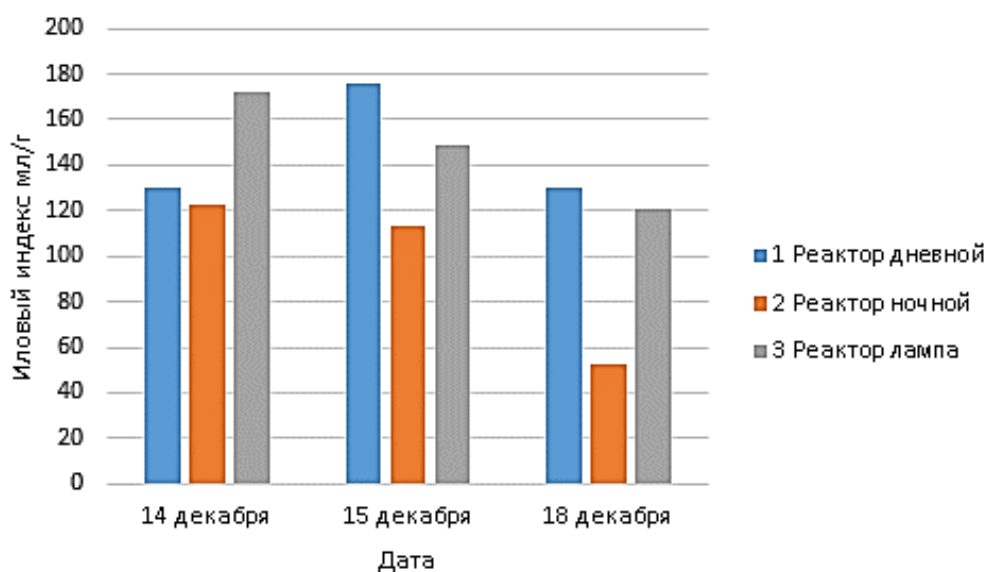


Рис. 2. Зависимость илового индекса реакторов от даты

В ходе лабораторного эксперимента были произведены замеры концентрации образующихся газов над поверхностью активного ила на высоте 2 см от неё – метана, углекислого газа, кислорода, азота. Измерения выполнялись газоанализатором Landtec GEM-2000 с погрешностью измерения 0,05%. Результаты представлены в таблице 1. При аэробном окислении, которое напоминает дыхание животного организма, происходит выделение оксида углерода CO<sub>2</sub>, по количеству которого возможно судить о потреблении кислорода активным илом, т.е. его окислительной способности [7].

Таблица 1 – Концентрации газов над поверхностью активного ила, %

Дата	1 реактор дневной свет				2 реактор ночной				3 реактор с лампой			
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
14.12	0,0	0,1	16,6	83,1	0,0	0,0	17,0	83,2	0,0	0,1	16,7	83,2
15.12	0,0	0,1	16,7	83,2	0,0	0,0	17,0	83,2	0,0	0,1	16,8	83,4
18.12	0,0	0,1	16,6	83,2	0,0	0,0	17,1	83,2	0,0	0,1	16,7	83,2

Исходя из результатов, полученных в ходе эксперимента, были сделаны следующие *выводы*. Водородный показатель среды pH зависит от типа освещения аэротенка и был прямо пропорционален интенсивности освещения.

При нормальном состоянии активного ила его иловый индекс имеет величину 60–150 мг/л [1]. Полученные в эксперименте значения в большинстве своём входят в этот диапазон, что свидетельствует о нормальной работоспособности ила.

Была выявлена зависимость между освещенностью аэротенков и концентрацией отходящих газов. В первом и третьем реакторе концентрация углекислого газа выше, чем в «тёмном» реакторе, а концентрация кислорода меньше. Это может являться следствием ускоренного по сравнению с «тёмным» реактором протеканием метаболизма автотрофных водорослей. При большей освещённости они в ходе окислительно-восстановительных процессов потребляют больше кислорода и выделяют больше углекислого газа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов; Ассоциации строительных вузов, 2006.
2. Борисова В.Ю. Повышение эффективности работы сооружений биологической очистки сточных вод в течение суток: диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 [Место защиты: Волгогр. гос. архитектурно-строит. ун-т]. – Новочеркасск, 2013. – 155 с. : ил.
3. Денисов А.А. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод. М. ВНИИТЭИагропром, 1989. 44 с.
4. Борисова, В. Ю. Экспериментальные исследования суточного режима работы аэротенков. Студенческая научная весна – 2012: материалы регион. науч.-техн. конф. (конкурса науч.-техн. работ) студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Рост. обл. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЛИК, 2012. – С. 213–214.
5. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
6. Юрченко В.А., Астапова А.В. Выявление факторов управления седиментационными свойствами активного ила. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 48. – С. 94–98.
7. Борисова Ю., Скибина Е.В., Серпокрылов Н.С., Каменев Я.Ю. Влияние освещенности биомассы на технологические параметры аэротенков. Технологии очистки воды «Техновод – 2011»: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Чебоксары / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2011. – С. 149–153.

## ТЕРМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХЛОПЧАТНИКА

Сорбционная очистка является одним из наиболее эффективных методов по удалению загрязняющих веществ, применяемых в водоочистке. В настоящее время многие научные работы посвящены изучению сорбционных свойств природного материала, как растительного, так и минерального происхождения: стебли злаковых, рисовая шелуха, лузга подсолнечника и гречиха, «шоколадная глина» и другие [1–5].

Целью работы является повышение эффективности сорбционной очистки воды с помощью растительного природного материала – хлопчатника.

Предлагается использовать стебли и листья хлопчатника обыкновенного (*Gossypium hirsutum L.*), выращенного в Узбекистане. Активацию сорбционных свойств предварительно измельченного материала проводят термическим способом.

Для определения наилучшей температуры сжигания измельченных стеблей и листьев хлопчатника был проведен термогравиметрический анализ [6].

Термоанализ был выполнен с использованием дериватографа DERIVATOGRAPH Q-1500D (Paulik-Erdey, Венгрия). Анализ позволяет определить температурные эффекты (эндо-, экзо-) и потери массы в результате протекающих в материале химических процессов в диапазоне температур до  $\sim 1000^\circ\text{C}$ . Порог обнаружения – 0,6 мг. Погрешность измерений составила не более 2,5%. Измеряются потери массы (кривая ТГ) и тепловые эффекты, протекающие при определенных температурах (ДТА) (рис. 1, 2).

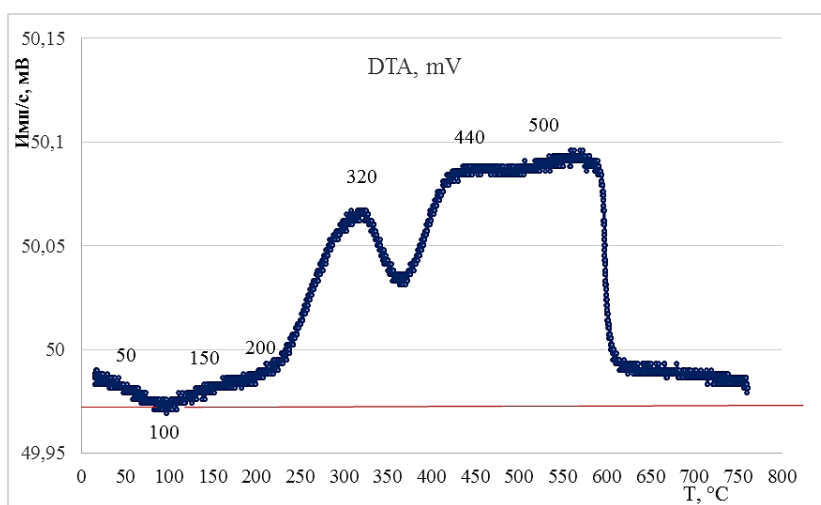


Рис. 1. Кривая ДТА (изменение энтальпии)

В результате проведенного термоанализа смеси листьев, стеблей и коробочек хлопчатника обыкновенного были получены термограммы. На графике (см. рис. 1) наблюдается эндотермический эффект в интервале температур  $50^\circ\text{C}$ – $150^\circ\text{C}$  с максимумом при  $100^\circ\text{C}$ . Данный эффект сопровождается определенными потерями массы – 5% (см. рис.2, на кривой убыли массы). Этот эффект первой стадии превращения связан с испарением влаги из пор биомассы. Экзотермический эффект, начинающийся при  $T = 200^\circ\text{C}$  с максимумом при  $320^\circ\text{C}$  (рис. 1), сопровождается потерями массы. Эффект отвечает реакции разложения целлюлозы при термическом разложении биомассы с выделением небольшого количества

тепла. Второй экзотермический эффект накладывается на первый, имеет широкий максимум при  $T = 500^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). Процесс сопровождается увеличением массы на 7,5% (рисунок 2) и отвечает реакции разложения лигнина, после чего завершается стадия термического разложения, выделяется большое количество энергии.

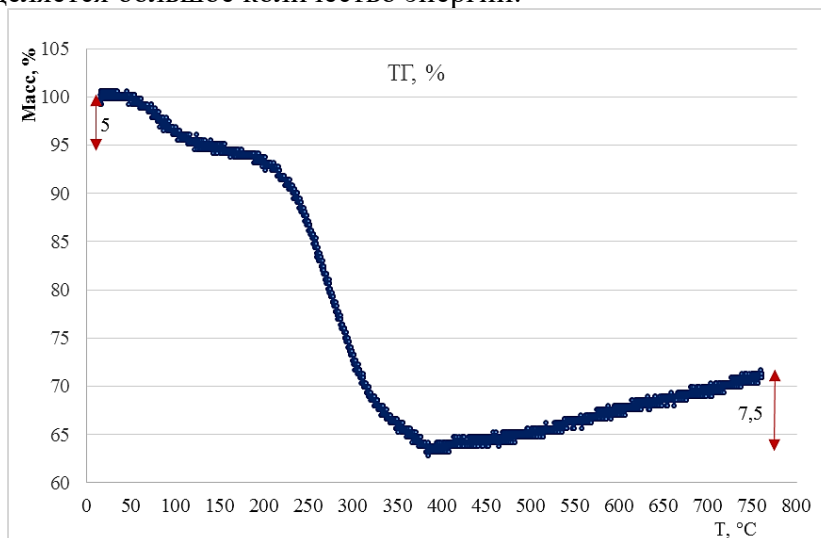


Рис. 2. Кривая ТГ (кривая убыли массы)

Проведённый анализ позволил определить температуру для дальнейшей работы с термической обработкой (сжигания) листьев, стеблей и коробочек хлопчатника обыкновенного, равную  $T = 350^{\circ}\text{C}$ . В результате обработки был получен требуемый сорбционный материал, который по внешним признакам отвечает характеристикам активированного угля и будет использован в дальнейших исследованиях по сорбционной очистке модельных сточных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Осокин В.М. Исследования по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды / В. М. Осокин, В.А. Сомин // Ползуновский вестник. – 2013. – № 1. – С. 280–282.
2. Серпокрылов Н. С., Борисова В. Ю., Халил А., Кондакова Н. В. Модификация рисовой соломы с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. 2016. № 4 (18). С. 53–56.
3. Громько Н.В. Применение подсолнечной лузги в качестве сорбента для очистки природных вод от ионов тяжелых металлов. Инновационная наука. № 1. 2016. С. 41–42.
4. Политаева Н.А., Аль-Фради Ф.Х.А., Челышева В.П. Сорбционный материал на основе хитозана-графена-бетулина-листьев финиковой пальмы для очистки стоков // Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2022. – С. 323–326.
5. Митракова Т.Н. Использование сорбентов из растительных отходов для очистки сточных вод от ионов меди (II) / Митракова Т.Н., Лозинская Е.Ф., Хоанг Ким Бонг, Темкин О.Н. // Вода: химия и экология. – № 12 (90). – 2015. – С. 56–63.
6. Опарина А.М., Донецкова А.С. Исследования отработанного биосорбента (биомассы микроводоросли *Chlorella kessleri* после очистки модельного раствора сточной воды) методом термогравиметрического анализа. Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: Сборник научных трудов IV Всероссийской НПК, в рамках IV Всероссийского научно-общественного форума «Экологический форум», Саратов, 26–28 октября 2022 года. – Саратов: 2022. – С. 243–247.

## БЛАГОУСТРОЙСТВО ОЗЕРА КАРАСИНОЕ В ГОРОДЕ КАЗАНЬ

*Актуальность.* Рассматриваемый в работе участок представляет собой живописную территорию, приемлемую для рекреационного использования. Привлекательности участку добавляет хорошая транспортная доступность: имеется автомобильная дорога и недалеко находится железнодорожная станция. Это определяет актуальность разрабатываемых в настоящей работе предложений по его использованию и благоустройству.

*Целью работы* является разработка предложений по использованию и благоустройству участка в качестве рекреационного пространства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить *следующие задачи:*

1. Изучение ситуации на настоящий момент.
2. Выбор способа использования участка.
3. Выбор стиля ландшафтного дизайна.
4. Составление списка необходимых объектов.
5. Разработка генерального плана.

В настоящее время объект, находящийся в пригородной зоне Казани, представляет частично заболоченный участок с заросшим водоемом. Имеется стихийная дорожно-тропиночная сеть без твердого покрытия. Растительность представлена свободно растущими деревьями и кустарниками лиственных пород. Весь участок получает достаточное количество солнечного света. Это означает, что на этой территории можно высаживать требовательные к теплу и освещенности растения. Общая площадь участка составляет 1.1 га. Автодорога огибает участок с юга и востока. Ситуационный план участка представлен на рис. 1.

Поскольку участок имеет относительно небольшую площадь, постольку представляется нерациональным использование его в качестве общественного рекреационного пространства. Одним из возможных вариантов является продажа участка в частную собственность или предоставление его в долгосрочную аренду. Однообразие планировки частных рекреационных пространств пригородной зоны Казани определяет возможность принятия неординарного решения – стилизации территории под помещичью усадьбу первой половины XIX века. Это предполагает наличие «классического дома с колоннами» и планировку сада в «английском стиле» [1]. Так как объект должен удовлетворять требованиям современного комфорта, то кроме дома и сада должны быть парковка, лодочный причал, объекты для занятий спортом и времяпрепровождения детей.

*Результаты.* В соответствии с природными условиями и необходимыми объектами предлагается разделить территории

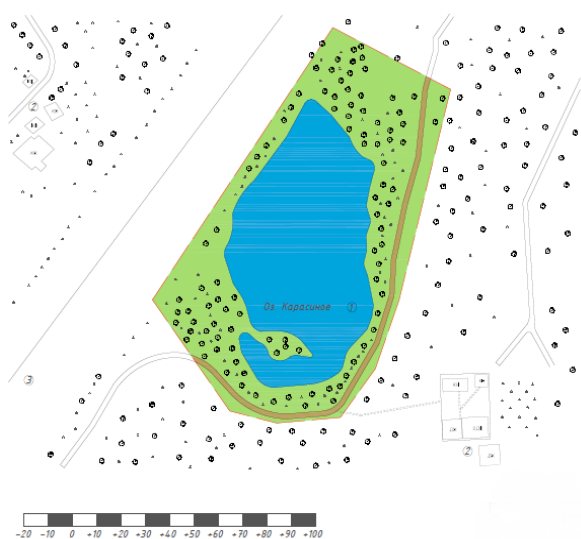


Рис. 1. Ситуационный план

на несколько функциональных зон. На севере участка предполагается зона занятий спортом, площадка для времяпрепровождения детей и «пикниковая зона» с мангалами и верандой. Расположение данной зона имеет ряд преимуществ: в первую очередь, – это контролируемая безопасность детской площадки (качели, карусель и т.п.), а также открывающийся вид на водное пространство [2]. Непосредственно при въезде на территорию с севера предлагается разместить автопарковку. Дом в стиле «деревянного классицизма» располагается также в северной части участка.

Основная часть территории является зоной «тихого отдыха». Она включает пейзажный сад и зону для краткосрочного отдыха. Эта зона позволит гостям хозяина усадьбы, прибывшим с целью отдохнуть от городской суеты, заняться рыбной ловлей и осуществить прогулку на лодках.

Сеть пешеходных дорожек определена с учетом главных маршрутов передвижения людей. Предполагается иерархия дорожек от основных до второстепенных с различными типами покрытия [3]. Основной дорогой считается проезд между северным и южным въездами парк. Зеленые зоны будут благоустроены и оборудованы различными малыми архитектурными элементами, такими как скамейки, беседки, контейнеры для мусора, уличные фонари, пандусы и другие [4].

Подбор ассортимента растений и определение их расположения осуществляется по совокупности природных и планировочных факторов, исходя из комплекса требований, учитывающих климатические условия, природные особенности территории (почва, рельеф, гидрология), стиль сада.

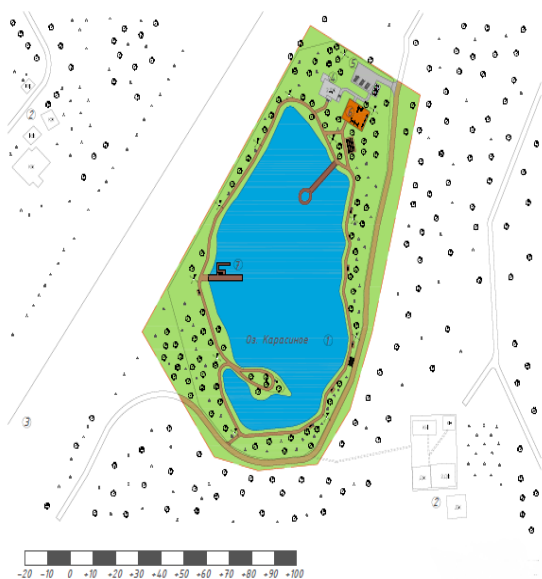


Рис. 2. Генеральный план

Деревья находятся в хорошем состоянии, но растут на участке беспорядочно. Предполагается вырубить несколько деревьев, в том числе молодых повислых берез и розы морщинистой в связи с их «неудачным» расположением. Для создания эстетически привлекательного сочетания с березами и розой планируется разнообразить состав деревьев, включая обыкновенную сосну и белую акацию, которые лучше всего подходят к природным условиям проектируемой территории [5]. Генеральный план участка после предлагаемой реконструкции представлен на рис. 2.

*Вывод.* Преобразование территории создаст в пригородной зоне Казани привлекательный для гостей (в том числе туристов, интересующихся «помещичьей» культурой) и комфортный для хозяев комплекс.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / М.: Стандартинформ, 2017.
2. Алексеев А.А., Алешин А.А. Архитектура и планирование городов. 2017.
3. СП 475.1325800.2020. Свод правил. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства / М.: Стандартинформ, 2020.
4. Криулин К.Н., Чабина Е.А. Городской парк. Инженерная подготовка территории. Учебное пособие. СПб.: СПбПУ, 2023.
5. Чабина Е.А., Криулин К.Н. Элементы архитектурно-планировочной композиции городских парков. Учеб. пособие СПб.: СПбПУ. 2022. – 99с.



РЕКРЕАЦИОННАЯ ЗОНА В МАЛЫХ ГОРОДАХ  
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КУДРОВО ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Цель исследования* – обосновать предложения по благоустройству и озеленению участка, характерного для современного малого российского города.

В качестве *объекта исследования* предложен утративший первоначальную ценность участок в городе Кудрово. Для достижения цели предлагается концепция рекреационной зоны и составляются проектные предложения по улучшению участка. План рассматриваемого объекта представлен на рис. 1. Этот объект включает в себя: 1 – заболоченный пруд, 2 – самосевные деревья, 3 – гидромелиоративный канал, 4 – временные сооружения, 5 – гаражи.

На первом этапе исследований изучается географическое местоположение территории, климатические условия; объекты, которые расположены на территории в настоящий момент; объекты, расположенные вблизи данной территории [1]. Концепция проектных предложений предусматривает создание на данном участке рекреационных зон для тихого и активного отдыха на свежем воздухе, недостаток которых в настоящее время остро ощущается в городе Кудрово.

*Результаты.* В качестве основы для планировочной структуры сада выбран редко используемый в городских объектах озеленения регулярный стиль. Регулярный стиль сада предполагает геометрически правильную планировку с выраженной симметричностью. Характеризуется прямыми аллеями, что удобно для передвижения людей и открывает живописные перспективы. Данный стиль легок в планировании, восприятии, имеет элегантность и классическую красоту. Кроме прямолинейных дорожек предусмотрены две симметричные криволинейные аллеи. Продвижение по ним обеспечит дополнительные впечатления от открывающихся перспектив на зелёные насаждения и другие элементы сада.

Функциональные зоны предложены с учетом потребностей населения близлежащих к рассматриваемому участку кварталов города Кудрово: 1 – прогулочная площадка, 2 – спортивная площадка, 3 – детская площадка, 4 – зона озеленения, 5 – зона тихого отдыха, 6 – «переходная зона», 7 – зона кафе и биотуалетов, 8 – входная зона. При определении состава и взаиморасположения рекреационных зон учтены рекомендации [2]. Генеральный план территории с вышеперечисленными функциональными зонами представлен на рис. 2.

В состав зоны озеленения 4 включен круглый в плане водоем, созданный на основе первоначального заболоченного пруда. Предполагается благоустройство пруда путем строительства набережной в виде озелененного откоса с низкой бетонной банкетной стенкой, облицованной естественным камнем. Предусматриваются спуски к воде и скрытая под водой защитная сетка в прибрежной зоне.

Расположение зон определяется возможным на них уровнем шума и «внешними условиями». Спортивная и детская площадки находятся рядом с одним из входов в сад. В непосредственной близости к другому входу располагается зона кафе и биотуалетов. Эти три зоны с «внешней стороны» ограничены автомобильной дорогой, создающей значительный шумовой фон. Наиболее тихая зона примыкает к редко посещаемым гаражам и отделена от зон, где возможен шум, «переходными зонами».

Предложенная единая дорожно-тропиночная система обеспечит комфортный вход на территорию участка, а также передвижение по нему [3]. Для покрытия предлагается использовать тротуарную и полимерно-песчаную плитки, а для детской и спортивной площадок – резиновое покрытие [4]. Возможно применение гидрофобизаторов для дополнительной гидроизоляции.

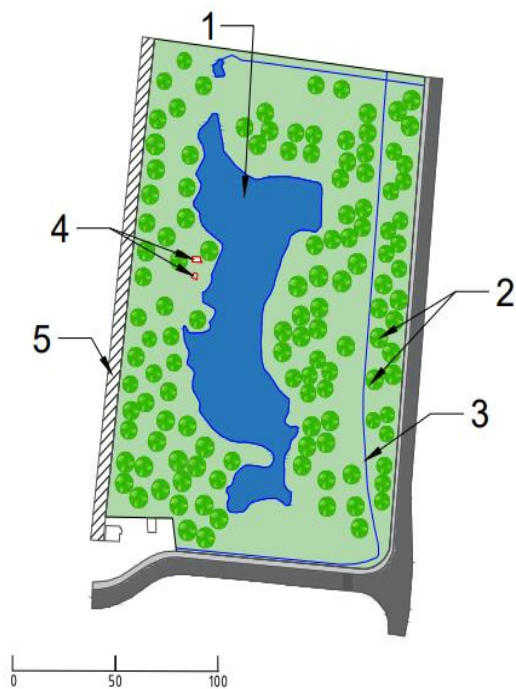


Рис. 1. План рассматриваемого пространства

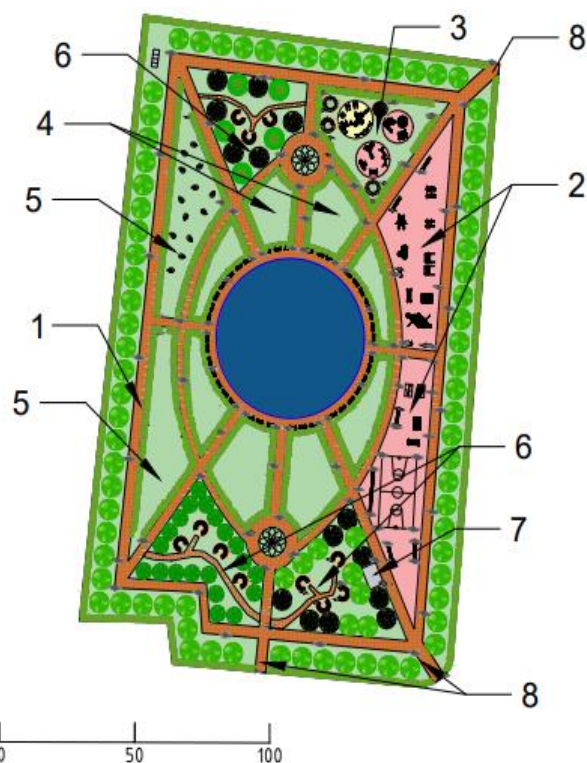


Рис. 2. Генеральный план

Малые архитектурные формы служат для организации общественного пространства [5]. К ним относятся скамейки, урны, уличные фонари, клумбы, биотуалеты, тренажеры, качели и т.д. Все предметы малых архитектурных форм имеют облик, не противоречащий принятому регулярному стилю зелёного пространства [6].

В регионах с умеренным и переходным от умеренно-континентального к умеренно-морскому климатом заметно проявляется влажная погода с сильным ветром. Деревья и кустарники могут защитить отдельные, особо продуваемые участки, и повлиять на микроклимат. Для лучшей приживаемости все используемые деревья и кустарники должны быть взяты из местной естественной среды региона или быть выращены в местных питомниках. В качестве элементов озеленения выбраны следующие растения, пригодные для разведения в северном климате и отвечающие требованиям, указанным выше: береза пушистая (*Bétula pubéscens*), липа мелколистная (*Tília cordáta*), дерен элегантиссима (*Cornus alba Elegantissima*), кизильник блестящий (*Cotoneáster lucídus*), примула (*Primula*), туя западная (*Thúja occidentális*) и ива вавилонская (*Sálix babylónica*) [7]. Составлен дендрологический план с ассортиментной ведомостью. Для предотвращения противоправных поступков на территории озелененного пространства предлагается установка достаточного количества телекамер, обеспечивающих контроль поведения посетителей сада.

**Выводы.** Выработаны предложения по благоустройству и озеленению территории участка, который утратил первоначальную ценность с учетом местных условий. Рекреационная зона позволит организовать тихий и активный отдых для населения города Кудрово. Основное назначение данного сада – физическое и моральное восстановление сил человека.

**Рекомендации.** Представляется возможным использовать разработанные предложения при планировании инвестиций и проектировании небольших озелененных рекреационных пространств, других возводимых и реконструируемых объектов в небольших городах Ленинградской области, а также по всей территории Северо-Западного региона Российской Федерации [8, 9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Криюлин К.Н., Симанкина Т.Л. Генеральный план, инженерная подготовка, организация рельефа территории застройки. Учеб.пособие. СПб.: СПбПУ, 2019. – 130 с.
2. Александрова Л.М. Ландшафтная архитектура. Проектирование зон досуга и отдыха туристских и спортивных объектов. Учеб. пособие СПб.: СПбПУ, 2008. – 196 с.
3. ГОСТ 21.204-93. СПДС. Условные графические обозначения и изображения элементов, генеральных планов и сооружений транспорта / М.: Госстрой России, 1994.
4. СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования / М.: Минстрой России, 2018.
5. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / М.: Стандартиформ, 2017
6. ГОСТ 21.508-93. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов / М.: Госстрой России, 1994.
7. Список растений, иллюстрации к которым размещены в справочнике Köhler's Medizinal-Pflanzen. Электронный ресурс [URL] – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Medizinal-Pflanzen> (дата обращения 16.01.2024). – Режим доступа: открытый.
8. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Волкова Ю.В., Терлеев В.В. Планирование инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем // Природообустройство. 2013. № 3. С. 32–37.
9. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // Procedia Engineering. 2016. Vol. 2016. P.1741–1747. (DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.917).

УДК 712.253

Н.В. Милешникова, С.Я. Павлов, Ю.В. Волкова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЛАНДШАФТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МУРИНО

*Актуальность.* Одной из уже назревших проблем новых городов является недостаток рекреационных зон. Это связано с быстрым темпом строительства новых жилых районов, а также плотностью застройки и ростом количества жителей, что в совокупности приводит к увеличению потребности в создании садово-парковых территорий города. Зачастую территории, выделенные под рекреационные цели из-за недостатка финансирования, долгое время сохраняются в виде пустырей.

*Цель работы* – создание комфортного озелененного общественного пространства в городе Мурино, а также повышение эстетической привлекательности населенного пункта в целом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дать характеристику территории и составить ситуационный план;
- показать, как будет падать свет в течение дня с помощью инсоляционного плана;
- создать план-схему существующих насаждений для учета в генеральном плане;
- выбрать стиль для существующей территории;
- разработать план функционального зонирования территории;
- выполнить генеральный план;
- выполнить разбивочный чертеж для территории.

Существующая территория расположена в Санкт-Петербурге в районе Мурино, прилегая к ЖК «Северная Долина».

На данный момент времени объект представляет собой заросший пустырь, что не удовлетворяет требования жителей комплекса к комфортной городской среде.

Общая площадь участка составляет 12,3 га. Существующая территория без выраженного рельефа, однако, в незначительных понижениях высот существует заболоченность. Имеется стихийная дорожно-тропиночная сеть без твердого покрытия. На территории располагается пруд. Также имеются самосевные группы молодых деревьев. В западной части располагается баскетбольная коробка для спорта и активного отдыха (рис. 1).

Инсоляционный план свидетельствует, что лишь утренняя тень охватывает незначительную часть участка. Поэтому территорию можно засаживать светолюбивыми растениями.

Подбор ассортимента растений для озеленения парка осуществляется по совокупности природных и планировочных факторов исходя из комплекса требований, учитывающих климатические условия, природные особенности территории (почва, рельеф, гидрология), градостроительную ситуацию [1].



Рис. 1



Рис. 2

*Результаты.* Предлагается реконструировать территорию в multifunctional ландшафтный парк, удовлетворяющий потребности граждан в спорте, тихом отдыхе, развлечении детей и приготовлении шашлыков «на природе» (рис. 2). Параметры основных функциональных зон парка определяются в соответствии со специализацией парка, характером существующего и перспективного функционального использования прилегающих к парку территорий на основании анализа архитектурно-планировочной ситуации [2]. Зона тихого отдыха предлагается к размещению в центральной части территории (недалеко от пруда и древесного массива). Таким образом, она территориально отдалена от городского шума и зон активного отдыха. Данный участок будет выделен для отдыха населения любого возраста.

Зона детского отдыха расположится рядом с входом в западной части парка, выбор данной территории обусловлен легкой доступностью для жителей жилого комплекса. Проезжая дорога, соединяющая дома и данный вход в парк, является дорогой с незначительным потоком машин. Зона детского отдыха дополнится большой детской игровой площадкой, качелями и каруселью, также рядом будут скамейки для взрослых. А в северной части расположится зона активного отдыха для подростков и взрослых. Там будет находиться тренировочное оборудование и волейбольная сетка для игр с мячом. Данная территория выбрана для активного отдыха, так как находится в дальней части парка, а ее расположение не будет мешать зоне тихого отдыха. В южной части расположится «пикниковая зона» с мангалами и беседками. Данная зона имеет ряд плюсов: в первую очередь – это контролируемая безопасность, удобство для населения, так как имеется все необходимое для комфортного отдыха. Также «пикниковая зона» находится вдалеке от детской и спортивной площадки и будет иметь отдельный вход с южной части парка. Транзитные дорожки будут сформированы таким образом, чтобы соответствовать основным путям местных жителей. Появится иерархия путей от основных до второстепенных дорог с покрытием разных типов. Плавно изгибающиеся парковые дорожки и небольшие искусственные сооружения могут создавать новые видовые образы, усиливая динамику впечатлений [3]. В генеральном плане отражены типы покрытий дорожек. Появятся четыре входа в парк, которые будут соединены главными дорогами.

Озелененные территории общего пользования должны быть благоустроены и оборудованы малыми архитектурными формами: фонтанами и бассейнами, лестницами, пандусами, подпорными стенками, беседками, светильниками и другими [4]. В качестве малых архитектурных форм в проекте используются беседки, скамейки, урны, уличные фонари, информационный щит, уличные тренажеры, качели и карусель.

Предполагается сохранение существующих деревьев, представленных молодыми березами повислыми и ольхой серой. Деревья находятся в хорошем состоянии, по участку распределены беспорядочно. Представляется необходимым разнообразить существующие древесные породы ивой ломкой и ивой плакучей, так как они идеально подходят под природные условия проектируемой территории, а также будут создавать эстетически привлекательное сочетание с березами и ольхой. На разбивочном чертеже указываются места размещения сооружений, площадок и дорожек. Модульная сетка служит связующим звеном между домами и парком, что позволяет добиться пропорциональности элементов дизайна участка между собой [5]. Чертеж включает в себя модульную сетку с шагом в 50 м.

*Вывод.* Создание пейзажного парка способно улучшить экологическую обстановку в городе Мурино и обеспечить жителей новой комфортной средой для отдыха.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Криулин К.Н., Чабина Е.А. Городской парк. Инженерная подготовка территории. Учебное пособие. СПб.: СПбПУ, 2023. – 97с.
2. СП 475.1325800.2020. Свод правил. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства / М.: Стандартинформ, 2020.
3. Чабина Е.А., Криулин К.Н. Элементы архитектурно-планировочной композиции городских парков. Учеб. пособие СПб.: СПбПУ. 2022. – 99 с.
4. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / М.: Стандартинформ, 2017.
5. Александрова Л.М. Ландшафтная архитектура. Проектирование зон досуга и отдыха туристских и спортивных объектов. Учеб. пособие СПб.: СПбПУ, 2008. – 196 с.

### НАВОЗ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ: ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКОЙ И ТВЕРДОЙ ФРАКЦИИ

*Введение.* Известно, что навозные стоки, полученные гидросмывом, подвергаются сепарации, в результате которой происходит их разделение на твердую и жидкую фракции [1]. Также известно, что для внесения на сельхозугодья эти фракции должны подвергаться аэробной переработке для уменьшения бактериального загрязнения среды и повышения количества минеральных соединений.

*Цель исследования:* выработка рекомендации по оптимальному использованию методов компостирования для твердой и жидкой фракций навоза свиноводческих комплексов.

Исходная твердая фракция характеризуется следующими показателями (табл. 1) [2].

Таблица 1 – Характеристика твердой фракции навоза

Наименование	Единицы измерения	Сухое вещество, %	Азот общий	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH
Навоз сухой	%	85	≥ 0,6	≥ 0,5	≥ 0,6	6,0-8,5

После переработки эта должна иметь следующие характеристики, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к физическим, механическим и агрохимическим свойствам удобрений, производимых на основе твердой фракции навоза в соответствии с ГОСТ Р 53117-2008 [2]

Показатель	Норматив для твердой фракции навоза
Массовая доля сухого вещества, %: – не менее – не более	25 –
Содержание балластных инородных механических включений, % от сухого вещества, не более: – с высокой удельной массой размером менее 40 мм – с низкой удельной массой размером менее 150 мм	1,5 1,5
Размер частиц удобрений, мм, не более	50
Показатель активности водородных ионов (реакция водной среды), pH	6,0–8,5
Массовая доля органического вещества, на сухое вещество, не менее	50
Массовая доля питательных веществ в удобрении с исходной влажностью, не менее: – азота общего – фосфора общего, в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – калия общего, в пересчете на K <sub>2</sub> O	0,3 0,2 0,2

В настоящее время для переработки твердой фракции навоза используются следующие методы [3]: 1) активное компостирование, 2) пассивное компостирование, 3) биоферментация в установках камерного типа, 4) биоферментация в установках барабанного типа.

Исходя из анализа перечисленных выше методов переработки твердой фракции, был выбран метод пассивного компостирования. Преимущества технологии переработки твердой фракции свиного навоза в органическое удобрение методом пассивного компостирования следующие [4]:

- широкий диапазон влажности твердой фракции свиного навоза и отсутствие влагопоглощающих материалов;
- невысокие требования к квалификации работников;
- простота конструкции площадок компостирования;
- относительно небольшие капитальные вложения.

Жидкая фракция свиного навоза, напротив, характеризуется низким содержанием сухого вещества и биогенных элементов на единицу физической массы. Исходная жидкая фракция характеризуется следующими показателями (см. табл. 3) [2]:

Таблица 3 – Характеристика жидкой фракции навоза

Наименование	Единицы измерения	Сухое вещество, %	Азот общий	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH
Навоз жидкий	%	3 – 8	≥ 0,1	≥0,05	≥0,05	6,0–8,5

По своим свойствам данный материал близок к минеральным удобрениям: он характеризуется быстрым сроком действия (биогенные элементы находятся в нем в основном в доступной для растений форме) и сбалансированным соотношением питательных веществ [5, 6]. После переработки жидкая фракция навоза должна иметь следующие характеристики (см. табл. 4).

Таблица 4 – Требования к физическим, механическим и агрохимическим свойствам удобрений, производимых на основе жидкой фракции навоза в соответствии с ГОСТ Р 53117-2008 [2]

Показатель	Норматив для жидкой фракции навоза
Массовая доля сухого вещества, %: – не менее – не более	3 8
Содержание балластных инородных механических включений, % от сухого вещества, не более: – с высокой удельной массой размером менее 40 мм – с низкой удельной массой размером менее 150 мм	1,0 0,5
Размер частиц удобрений, мм, не более	10
Показатель активности водородных ионов (реакция водной среды), pH	6,0–8,5
Массовая доля органического вещества, на сухое вещество, не менее	70
Массовая доля питательных веществ в удобрении с исходной влажностью, не менее: – азота общего – фосфора общего, в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – калия общего, в пересчете на K <sub>2</sub> O	0,10 0,05 0,05

В настоящее время для переработки жидкой фракции навоза используются следующие методы: естественный, искусственный, химический, физический [7].

*Результаты.* Исходя из анализа перечисленных выше методов переработки жидкой фракции, был выбран естественный метод аэробной обработки. Преимущества технологии переработки жидкой фракции свиного навоза в органическое удобрение методом аэробной обработки следующие: широкий диапазон влажности жидкой фракции 85–97%; отсутствие постоянного контроля квалифицированным персоналом за процессом переработки, простота конструкции навозохранилища [4].

*Вывод.* В соответствии с требованиями ГОСТ [2], в органических удобрениях на основе отходов животноводства не допускается присутствие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, цист кишечных патогенных простейших, личинок и куколок синантропных мух, а также нормируется индекс санитарно-показательных микроорганизмов (колиформы и энтеробактерии – 1–9 клеток/г).

*Рекомендация.* Основываясь на проведенном анализе различных методов переработки фракций навоза, представляется оптимальным использование методов пассивного компостирования для твердой фракции и естественного для жидкой фракции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Павлов С.Я., Тиспирева А.А. Свиноводческие комплексы: схемы очистки сточных вод. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023 г. 196 с.
2. ГОСТ Р 53117-2008. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия (Переиздание). 4 с.
3. ИТС 42-2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы (утв. Приказом Росстандарта от 29.11.2017 N 2667): [Электронный ресурс]. URL: <https://e-ecolog.ru/docs/VmUwmWVCoN2sXufR6KYfx/3867> (Дата обращения: 22.12.2023).
4. ИТС 41-2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Интенсивное разведение свиней (утв. Приказом Росстандарта от 13.12.2017 N 2819): [Электронный ресурс]. URL: [https://e-ecolog.ru/docs/cJx8R-ELs-eKcOz5wAEk/4489?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F](https://e-ecolog.ru/docs/cJx8R-ELs-eKcOz5wAEk/4489?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F) (Дата обращения: 22.12.2023).
5. Полуэктов Р.А., Терлеев В.В. Компьютерная модель динамики содержания азота в корнеобитаемом слое почвы // Агрохимия. 2010. № 10. С. 68–74.
6. Терлеев В.В. Моделирование обмена, переноса и поглощения фосфора и калия в корнеобитаемом слое почвы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / АФИ РАСХН. Санкт-Петербург, 2001. 40 с.
7. РД-АПК 1.10.15.02-17. Система нормативных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета (утв. и введены в действие Минсельхозом России 23.05.2017): [Электронный ресурс]. URL: [https://e-ecolog.ru/docs/I8vFgkNchf1cViwwx2Ezp/1374?ysclid=lqfq0eodnb726687395&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.yandex.ru%2F](https://e-ecolog.ru/docs/I8vFgkNchf1cViwwx2Ezp/1374?ysclid=lqfq0eodnb726687395&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.yandex.ru%2F) (Дата обращения: 22.12.2023).

УДК 712.253

В.Д. Школин, С.Я. Павлов, О.С. Скворцова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ДАМБА НА РЕКЕ ОБЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАТОПЛЕНИЙ ПЕРВОМАЙСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКА

*Введение.* Город Новосибирск расположен в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС. В результате сбросов воды из водохранилища в нижнем бьефе происходят подтопления и затопления обширных прибрежных территорий и расположенных на них участков частной застройки [1–3]. Настоящая работа посвящена актуальной проблеме защиты от затоплений прибрежной селитебной территории правого берега реки Обь.



Целью исследования является разработка предложений по размещению и конструкции береговой дамбы обвалования для защиты прибрежных территорий Первомайского района Новосибирска с сохранением доступа к зонам отдыха и общественным пляжам.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- 1) комплексное изучение и оценка гидрометеорологического режима акватории р. Обь в районе проектирования;
- 2) выбор размещения дамбы обвалования;
- 3) предварительные предложения по конструкции дамбы.

При сбросах из водохранилища критической высотой подъема уровня в нижнем бьефе является отметка 98,18 м [4]. На рис. 1 показана территория, затопляемая при такой ситуации. На ней расположены частные участки с дорогостоящими постройками и ценными сельскохозяйственными угодьями [5]. При затоплении возможно повреждение инфраструктуры и заражение территории стоками из систем водоочистки и водоотведения [6].

Предполагаемое расположение дамбы обвалования определяется следующими факторами:

- 1) дамба должна проходить по территории малоосвоенной или с малоценными объектами;
- 2) территория «отданная под затопление» также не должна включать объектов дорогостоящей застройки, ценных водохозяйственных угодий и важных коммуникаций;
- 3) размещение дамбы не должно совпадать с освоенными и популярными пляжами на реке Обь.

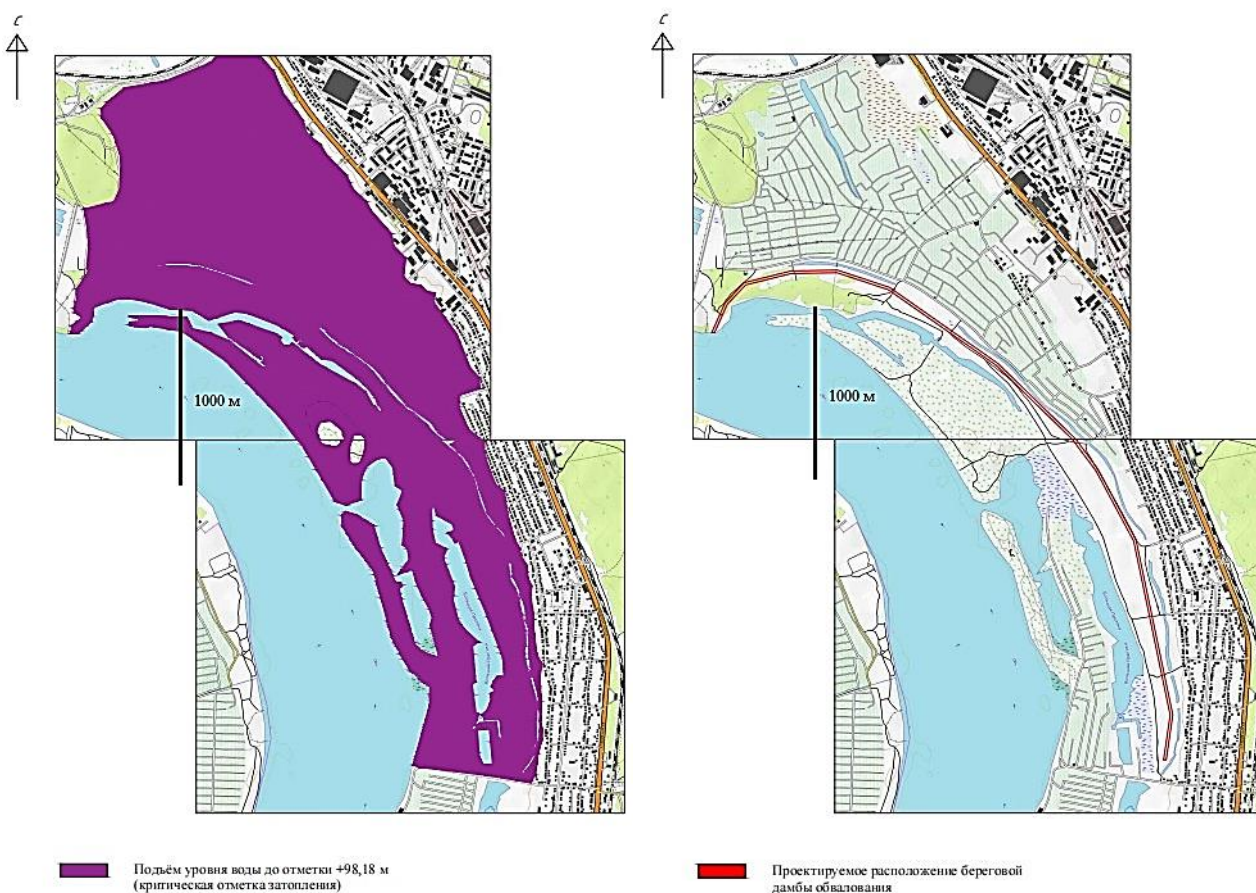


Рис. 1. Территория затопления при подъеме воды + 7 м

Рис. 2. Предлагаемое размещение дамбы

*Результаты.* Исходя из этих требований предлагается размещение дамбы, показанное на рис. 2.

При отсыпке дамбы наиболее предпочтительно использование местного суглинка. В связи с этим возможно избежать применения дополнительных противодиффузионных устройств. По гребню дамбы будет проложена грунтовая дорога с односторонним движением. Через дамбу предусматриваются проезды для обеспечения коммуникации с пляжами.

Вопрос о насосной станции для перекачки поверхностных и грунтовых вод с ограждаемой территории будет рассмотрен отдельно.

*Выводы.* Предлагаемые решения по расположению защитной дамбы позволят создать сооружение, обеспечивающее безопасность обширной и важной для Новосибирска территории. За счет использования местных строительных материалов стоимость объекта не будет значительной [7, 8].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Схема территориального планирования Новосибирского района Новосибирской области том 2, часть 1, г. Новосибирск 2015 г. 10–31 с.
2. Климат Новосибирска – Погода и климат [Электронный ресурс] // URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29638.htm> (Дата обращения 10.12.2023).
3. Российское гидрометеорологическое общество Общероссийская Общественная Организация [Электронный ресурс] // URL: <https://rgmo.net/index.php/gidrologicheskaya-obstanovka-na-verkh> / (Дата обращения 25.12.2023)
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ФГБУ “Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии “Планета” Сибирский центр” [Электронный ресурс] // URL: [http://planet.rssi.ru/index.php?page\\_type=daily\\_image&page=daily\\_image&y=2019&m=06](http://planet.rssi.ru/index.php?page_type=daily_image&page=daily_image&y=2019&m=06) (Дата обращения 25.12.2023).
5. Топографическая карта Новосибирска [Электронный ресурс] // URL: <https://votetovid.ru/#54.9316,83.0560,13z,tb,0sl> (Дата обращения 25.12.2023).
6. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 225-231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).
7. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1741–1747. (DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.917).
8. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Волкова Ю.В., Терлеев В.В. Планирование инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем // *Природообустройство*. 2013. № 3. С. 32–37.

УДК 621.182.94

А.В. Быченкова, О.С. Скворцова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ШЛАКОЗОЛОТВАЛА № 1 НЕРЮНГРИНСКОЙ ГРЭС

Шлакозолоотвалы (золоотвалы, золошлакоотвалы) (далее ШЗО) представляют собой хранилища для сбора золы и шлака, образующихся при сжигании твердых топлив на тепловых электрических станциях. При наличии на станции системы гидрозолоудаления золу и шлак транспортируют в виде пульпы (с помощью воды). ШЗО – это гидротехническое сооружение как правило III или IV классов [1, 2].

*Актуальность* проведения реконструкции ШЗО обусловлена тем, что со временем полезная емкость хранилищ исчерпывается и появляется необходимость создания дополнительных емкостей. Эти емкости могут создаваться на новом месте, но недостаток

свободных площадей для золоотвалов приводит к необходимости разработки инженерных решения по дополнительному увеличению емкости и продлению сроков службы существующих хранилищ отходов.

Основной задачей эксплуатации ШЗО является обеспечение их работоспособного состояния, гарантирующего бесперебойное складирование золошлаковых отходов, при эффективном использовании емкости. При этом ШЗО должны соответствовать положениям Закона РФ «О безопасности гидротехнических сооружений», требованиям охраны окружающей среды, а их эксплуатация – обеспечивать безопасность жизнедеятельности [3].

Проблема складирования золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики в современных условиях обостряется несколькими факторами: проектные емкости существующих сооружений для приема и складирования золошлакоотходов за десятки лет эксплуатации энергообъектов исчерпаны, постоянно ужесточаются требования к экологической безопасности данных сооружений; дефицит свободных площадей для строительства новых сооружений [4].

*Целью исследования* является выбор оптимального способа увеличения сроков эксплуатации ШЗО на примере реконструкции шлакозолоотвала № 1 Нерюнгринской ГРЭС.

Нерюнгринской ГРЭС – крупнейшая тепловая электростанция Республики Саха (Якутия) – входит в качестве структурного подразделения в состав АО «Дальневосточная генерирующая компания» (ПАО «РусГидро»). Станция построена в уникально сложных условиях с резко континентальным климатом, с перепадом температур в течение года до 90°С, слоем многолетней мерзлоты в 30 м и сейсмичностью в 9–11 баллов.

Действующий ШЗО № 1 – овражного типа, намывной, односекционный, двухъярусный: расположен в юго-восточной части поселка городского типа Серебряный Бор Нерюнгринского района Республики Саха (Якутия). Система внешнего гидрозолоудаления – гидравлическая с совместным транспортированием и складированием золы и шлака, обратная с возвратом осветленной воды на ГРЭС. Площадь первой очереди – 100 га. Проектный объем первой очереди – 7,3 млн м<sup>3</sup>, в 2009 г. было выполнено наращивание второго яруса (отметка гребня – 837,5 м) расчетным объемом 9,0 млн м<sup>3</sup>, объем шлакозолоотвала увеличился до 16,3 млн м<sup>3</sup>.

Остаточная емкость ориентировочно составляет (на сентябрь 2021 г.) – 1,6 млн м<sup>3</sup>. Срок исчерпания емкости ШЗО №1 – 2024 г. Для обоснования оптимального варианта увеличения емкости ШЗО № 1 был выполнен комплекс инженерных изысканий. Инженерно-геологические изыскания позволили определить физико-механические и гидрофизические характеристики грунтов [5, 6] в основании сооружений, характеристики золошлакового материала, коэффициенты фильтрации основания и нижележащих дамб наращивания, информацию о наличии или отсутствии многолетней мерзлоты под ШЗО и ограждающими дамбами. Инженерно-геодезические изыскания позволили получить точное положение уровня золошлаковой пульпы в ШЗО, основания намечаемых сооружений для определения корректных объемов и стоимости предстоящих работ. Инженерно-экологические изыскания позволили уточнить класс опасности поступающей пульпы, возможные экологические ограничения при выборе способа наращивания дамб ШЗО.

*Результаты.* На основе оценки исходных данных рассмотрено несколько компоновочных решений (вариантов) по реконструкции ШЗО № 1 Нерюнгринской ГРЭС. Результаты их сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Во всех вариантах предусмотрен противотеплоизоляционный элемент, укладываемый на поверхность заполненной карты и на откосы наращиваемых дамб, для предотвращения загрязнения окружающей среды. Новым конструктивным решением в данных климатических условиях является применение текстурированной геомембраны со сварным соединением (двойной шов), минимальная конструктивная толщина, которой составляет 1,5

мм. При производстве работ по возведению ШЗО необходимо осуществлять мероприятия по охране окружающей среды [7, 8], так как нарушение целостности геомембраны приведет к техногенному загрязнению прилегающей территории.

Таблица 1 – Техничко-экономическое сравнение компоновочных решений

1	Наращивание существующих ограждающих дамб с переводом прилегающих земель (защитные леса) в эксплуатационные земли (земли промышленности), увеличение емкости за счет дополнительной территории	1. Строительство дамб наращивания на прочных коренных грунтах и на существующих плотных нижележащих дамбах; 2. Большая емкость ШЗО после реконструкции.	1. Территория освоения новой земли (леса) общей площадью ~26,25 га; 2. Процедура перевода земель в другую категорию – 1,5–2,5 года.
2	Строительство южной дамбы с 3 и 4 ярусами наращивания без секционирования ШЗО №1	1. Работа по существующей проверенной технологической схеме с использованием действующих сооружений; 2. Сохранение существующей технологии и состава сооружений обеспечивает высокий уровень безопасности.	При реализации варианта требуется остановка эксплуатации существующей системы оборотного водоснабжения в связи с необходимостью осушения существующего отстойного прудка (минимальная отметка – 825,0 м) и массива намывного золошлакового материала с целью формирования основания дамбы на отм. 836,0 м.
3	Секционирования ШЗО №1 разделительной дамбой на 2 секции с 3-м и 4-м ярусами наращивания.	1. При реализации варианта возможно осуществлять одновременную эксплуатацию системы оборотного водоснабжения (эксплуатация плавучих насосных) и подготовку основания (отсыпка/намыв золошлакового материала ≈ 700 тыс. м <sup>3</sup> ) южной дамбы (на юго-западном участке), а также осуществления мероприятий по осушению золошлаков в соответствующей секции; 2. Секционирование позволяет распределить инвестиционные затраты на реконструкцию ШЗО на продолжительный период времени (≈13 лет).	Увеличенные по сравнению с вариантом 2 объемы работ за счет строительства дополнительной разделительной дамбы.

По результатам технико-экономического сравнения предпочтение было отдано варианту №3 – секционирования ШЗО № 1 разделительной дамбой на 2 секции с 3-м и 4-м ярусами наращивания, так как: не требуется дополнительного отвода земельного участка; не затрагиваются прилегающие природные территории; не оказывается дополнительное воздействие на природные водные объекты, на водные биологические ресурсы; производство строительных работ по отдельным секциям минимизирует антропогенную нагрузку на компоненты природной среды по каждому периоду строительства; секционирование позволяет распределить инвестиционные затраты на реконструкцию ШЗО № 1.

*Выводы.* Секционирование и наращивание дополнительных ярусов (дамб) ШЗО № 1 Нерюнгринской ГЭС по варианту 3 является оптимальным методом реконструкции, который повысит полезную емкость для складирования золошлаковых отходов, обеспечит нормативную работу Нерюнгринской ГРЭС на ближайшие 8-10 лет, позволит произвести ее расширение за счет установки дополнительных турбоагрегатов и не потребует дополнительных отводов земельных участков.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. П 26-85 ВНИИГ. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электростанций, 1986;
2. Критерии и классификации гидротехнических сооружений, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 05.10.2020 №1607;
3. Типовая инструкция по эксплуатации золошлакоотвалов, СО 34.27.509-2005, 2007 г.;
4. Пути решения проблем складирования золошлакоотходов на примере ТЭЦ г. Журнал «Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ГОУ». 2019г., том 3, с. 295–300.
5. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
6. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // Procedia Engineering. 2016. Vol. 2016. P.1741–1747. (DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.917)
7. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
8. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225–231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).

УДК 504.062.4

Е.С. Грязева, Ю.В. Волкова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### КЛАССИФИКАЦИЯ РАБОТ НА ТЕХНИЧЕСКОМ ЭТАПЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРОВ

*Актуальность* проведения рекультивации карьеров на горно-перерабатывающих предприятиях обусловлена необходимостью сохранения и восстановления природных ресурсов, улучшения экологической обстановки и обеспечения устойчивого развития производства в долгосрочной перспективе. Рекультивация – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества [1, 2]. Рекультивацию нарушенных земель для сельскохозяйственных, лесохозяйственных и других целей осуществляют последовательно в два этапа – технический и биологический – в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59057-2020 и с учетом существующих НДТ [3].

*Целью работы* является предложение экономически целесообразного и экологически допустимого метода восстановления нарушенных земель на техническом этапе рекультивации.

Технический этап рекультивации нарушенных земель предусматривает комплекс работ по созданию необходимых условий для дальнейшего использования рекультивированных земель в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием. На техническом этапе рекультивации производится целенаправленное создание адаптированных к окружающей среде форм техногенного рельефа и осуществляются мероприятия по подготовке земель (освобождающихся по окончании отработки месторождения) к последующему использованию [4]. В зависимости от специфики предприятия выделяют несколько методов выполнения технического этапа рекультивации.

Таблица 1 – Характеристика методов технического этапа рекультивации

Метод	Положительные и отрицательные качества
Формирование откосов нового проектного профиля	Положительные качества: 1. Возможность для образования растительности. 2. Снижение риска развития эрозионных процессов.
	Отрицательные качества: 1. При наличии крутых склонов доступ к верхним частям карьера для посадки растений и ухода за ними может быть затруднен. 2. Существует возможность эрозии почвы и оползней.
Обратная засыпка	Положительные качества: 1. Покрывает скальные поверхности. 2. Если количество заполняющего материала достаточно, может быть воссоздан первоначальный рельеф. 3. Растительность может быть создана в любом месте участка после создания рельефа
	Отрицательные качества: 1. Требуется очень большие объемы заполняющего материала. 2. Высокая вероятность оседания из-за уплотнения под действием собственного веса и влаги, которое происходит после опрокидывания наполнителя, что ограничивает возможности последующего использования. Эту вероятность можно свести к минимуму, уплотняя наполнитель по мере его укладки. 3. При обратной засыпке затопленных котлованов существует вероятность загрязнения подземных вод. Необходимо чтобы материалы не были загрязненными или токсичными.
Восстановительные взрывные работы	Положительные качества: 1. Проект взрывных работ может быть адаптирован для воспроизведения существующих форм рельефа, чтобы вписать карьер в окружающий ландшафт. 2. Отвалы, созданные в рамках процесса восстановительных взрывных работ, могут быть использованы в качестве субстрата для создания растительности. 3. Уменьшается общий уклон стен карьера там. Это помогает вписать карьер в окружающий ландшафт.
	Отрицательные качества: 1. Дорогостоящий. 2. Стены карьера не всегда устойчивы. Может потребоваться принятие мер по стабилизации породы. 3. На осыпных склонах может развиваться эрозия почвы. 4. Для образования растительности одних только отвалов может быть недостаточно. В таких случаях, возможно, придется вносить почву, органическое вещество или другие почвообразующие материалы
Посадка растительности на уступах карьера	Положительные качества: 1. Улучшение визуальных качеств участка. 2. Создаются места обитания растений и диких животных в пределах карьера могут быть сохранены.
	Отрицательные качества: 1. Требуется применение мер по предотвращению камнепадов. 2. Доступ к верхним уступам карьера может быть затруднен, и может потребоваться специализированное оборудование для размещения и разбрасывания грунта.

*Результаты.* Авторами предлагается классификация способов проведения работ на техническом этапе рекультивации, которая представлена в таблице 1. В качестве примера по выбору технологии обустройства территории карьера для его рекультивации рассмотрим Северный карьер, находящийся на территории золотосеребряного предприятия Магаданской области. Площадь карьера – 13,43 га; почвы – подбуры тундровые и таежные; климат – резко континентальный, суровый; рельеф – среднегорный, средней степени расчлененности; склоны – крутизной 10-30°. Добыча ископаемых происходит открытым способом.

Исходя из социально-экономической оценки данного района, выбрано санитарно-гигиеническое направление рекультивации, поскольку на территории отсутствует население, а работы осуществляются вахтовым методом: следовательно, рекреационное, строительное направления нецелесообразны для данного участка. Технический этап рекультивации на данной территории включает в себя следующие виды работ:

- ограждение выработанного пространства карьера;
- земляные работы по восстановлению нарушенных земель;
- планировочные работы;
- устройство дренажной водоотводящей сети [2];
- противозрозийная организация территории [5].

Проанализировав таблицу 1, авторы полагают, что наиболее приемлемым методом в условиях данного карьера является метод обратной засыпки, поскольку:

- местный грунт пригоден для обратной засыпки, что позволяет значительно снизить затраты на материалы и транспортировку грунта;
- метод обратной засыпки позволяет значительно сократить сроки рекультивации территории;
- засыпка грунта улучшает свойства почвы, повышает ее плодородие и делает территорию более пригодной для использования, так как происходит создание нового слоя грунта, с учетом особенностей нарушений и биоразнообразия;
- обратная засыпка защищает почву от эрозии и других негативных воздействий, так как дополнительный слой грунта служит барьером для воды и ветра [6], предотвращая смыв и дефляцию почвы и способствуя сохранению ее гидрофизических характеристик [7-9] и биосферной функции, что способствует улучшению экологической ситуации.

Стоит отметить, что при использовании метода обратной засыпки сначала производится очистка территории от мусора, отходов и других загрязняющих веществ [10].

*Выводы.* Технология обратной засыпки целесообразна для данной местности, поскольку учитывается специфика предприятия и множество факторов, таких как условия окружающей среды, экономическая целесообразность, социальные потребности и технические возможности. Рекультивация нарушенных земель является необходимым и важным мероприятием, направленным на обеспечение устойчивого развития горно-перерабатывающих предприятий и защиту окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 59070-2020. Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения.
2. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Волкова Ю.В., Терлеев В.В. Планирование инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем // Природообустройство. 2013. № 3. С. 32–37.
3. Открытые горные работы. Справочник. М.: Горное бюро, 1994.
4. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель.
5. Методические указания по проектированию рекультивации земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности. Пермь, ВНИИОСуголь, 1991.

6. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225–231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).
7. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
8. Nikonorov A., Terleev V., Pavlov S., Togo I., Volkova Yu., Makarova T., Garmanov V., Shishov D., Mirschel W. Applying the model of soil hydrophysical properties for arrangements of temporary enclosing structures // Procedia Engineering. 2016. Vol. 2016. P.1741–1747. (DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.917).
9. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Терлеев В.В., Латышев Н.К., Крылова И.Ю., Глядченкова Н.А. Определение водно-физических свойств почв при мелиоративных изысканиях // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 2. С. 18–21.
10. Аслаханов А.Н., Данилина Н.Ю., Терлеев В.В., Волкова Ю.В. Определение критериев эффективности рекультивации земель // В сборнике: Политехническая неделя в Санкт-Петербурге. материалы научного форума с международным участием. Кафедра водохозяйственного и гидротехнического строительства. 2016. С. 335–337.

УДК 697.91

Р.А. Ревенко, Ф.М. Семенов, В.Л. Баденко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВАЖНОСТЬ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

*Цель работы* – аргументированно показать необходимость устройства многоступенчатой фильтрации приточного воздуха систем вентиляции медицинских организаций при проведении реконструкции этих зданий или капитального ремонта систем вентиляции в них (рис. 1). Согласно п. 7.1.1 СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [1] в проектной документации здания или сооружения с помещениями с пребыванием людей должны быть предусмотрены меры по ограничению проникновения в помещения пыли, влаги, вредных и неприятно пахнущих веществ из атмосферного воздуха.

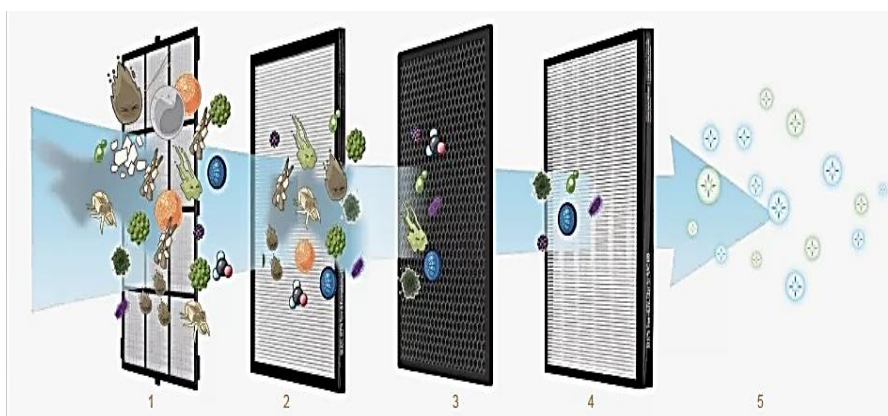


Рис. 1. Схема фильтрации

К системам вентиляции медицинских учреждений предъявляются требования, описанные в СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг» [2]:



- наружный воздух, подаваемый приточными установками, подлежит очистке фильтрами грубой и тонкой очистки (п. 4.5.17);
- выброс воздуха на фасад должен быть после очистки фильтрами соответствующего назначения (п. 4.5.18);
- воздух, подаваемый в помещения классов чистоты А и Б, подвергается очистке и обеззараживанию фильтрами или другими устройствами, обеспечивающими эффективность очистки и обеззараживания воздуха на выходе из установки не менее чем на 99% для помещений класса чистоты А и 95% для помещений класса чистоты Б или эффективность фильтрации, соответствующей фильтрам высокой эффективности. Фильтры высокой эффективности подлежат замене не реже одного раза в 6 месяцев, если другое не предусмотрено инструкцией по эксплуатации (п. 4.5.19);
- в инфекционных отделениях вытяжные вентиляционные системы оборудуются устройствами обеззараживания воздуха или фильтрами тонкой очистки (п. 4.5.12).

Гораздо подробнее эти требования, в том числе с указанием классов фильтров и количества ступеней очистки, раскрыты в СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» [3] и ГОСТ Р 52539-2006 «Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования» [4]:

- ступени очистки воздуха следует принимать в соответствии с таблицей К.2 приложения К (п. 7.2.3.19) [3];
- воздух, удаляемый из секционных, инфекционных отделений, микробиологических лабораторий, местных вытяжных устройств помещений для работы с открытыми радионуклидами должен очищаться в фильтрах высокой эффективности (класса Н13) (п. 7.2.3.20);
- места установки фильтров должны позволять удобную очистку или замену фильтрующих элементов по мере их загрязнения (п.7.2.3.22);
- вытяжные решетки в помещениях классов чистоты А и А1 должны быть выполнены из коррозионностойких металлов (нержавеющая сталь, алюминий) со встроенными фильтрами класса G4 (п. 7.2.3.25);
- в инфекционных, в том числе туберкулезных отделениях, вытяжная вентиляция каждого бокса должна устраиваться, как правило, посредством самостоятельных каналов. За пределами обслуживаемого бокса воздухопроводы выполняются плотными (класс В) по ГОСТ Р ЕН 13779 [5]. Объединение воздухопроводов из разных боксов осуществляется в вытяжной камере. Перед вентилятором на сборном вытяжном воздуховоде следует устанавливать фильтр высокой эффективности (класса Н13) (п. 7.2.3.30);
- фильтры высокой эффективности (Н11-Н14) следует устанавливать, как правило, непосредственно в обслуживаемом помещении. В случае невозможности их размещения в помещении воздухопроводы вентиляционных систем после фильтров сверхвысокой эффективности предусматриваются из нержавеющей стали или других материалов с гладкой, коррозионностойкой, не пылящей поверхностью;

В упомянутой таблице К.2 дается классификация помещений для целей проектирования по требованиям к чистоте воздуха и кратности воздухообмена:

- высокоасептические операционные и палаты интенсивной терапии с однонаправленным потоком воздуха для пересадки органов, имплантации и протезирования, для операций на открытом сердце и крупных сосудах и других операций с обширным операционным полем и/или длительной продолжительностью, палаты для больных с обширными ожогами, со сниженным иммунитетом, для трансплантации стволовых клеток и т.п., стерильные зоны лабораторий клеточных технологий имеют класс чистоты А, приточный воздух должен соответствовать классу 5 ИСО (в зоне однонаправленного потока), а также 6 ИСО и иметь четыре степени очистки фильтрами – G4+F7+F9+H14;

- прочие операционные (в том числе акушерские, ангиографические, для абдоминальной хирургии и т.п.), родовые и реанимационные залы, послеоперационные палаты, палаты интенсивной терапии, в том числе для ожоговых больных, для выхаживания новорожденных и недоношенных детей; эмбриологическая лаборатория, чистые зоны лабораторий клеточных технологий; операционные и манипуляционные для лабораторных животных (кроме конвенциональных); производственная зона радиохимической лаборатории; лаборатория подготовки реактивов для синтеза РФП имеют класс чистоты А1, приточный воздух должен соответствовать классу 7 ИСО и иметь четыре степени очистки фильтрами – G4+F7+F9+H13;
- малые операционные, предоперационная, наркозная и другие помещения, ведущие в операционные; помещения хранения стерильных материалов; диализные залы и другие процедурные эфферентной терапии; барозалы, манипуляционные, перевязочные и процедурные ОРИТ; ассистентские и фасовочные аптек; боксы микробиологических лабораторий (кроме перечисленных в классах А и А1); стерильные зоны ЦСО; фасовочная РФП; помещения для содержания лабораторных СПФ-животных имеют класс чистоты Б, приточный воздух должен соответствовать классу 8 ИСО и иметь четыре степени очистки фильтрами- G4+F7+F9+H11 – H13;
- палаты для взрослых и детей, в том числе послеродовые, манипуляционные, перевязочные, процедурные, барозалы, лаборантские (кроме перечисленных в классах А, А1 и Б), помещения эндоскопической и функциональной диагностики, смотровые и другие лечебные и диагностические помещения, помещения хранения и подготовки чистых материалов, столовые, буфетные, помещения персонала, коридоры палатных и других лечебных и диагностических отделений, производственные помещения чистой зоны ЦСО, секционные и предсекционные; лаборатория контроля качества РФП; помещения для содержания конвенциональных животных; криохранилища, помещения программного замораживателя имеют класс чистоты В и должны иметь три степени очистки фильтрами – G4+F7+F9;
- административные и технические помещения, коридоры (кроме перечисленных в классе Б и В), вестибюли, холлы, помещения пищеблоков, прачечных, уборные, душевые, санитарные комнаты, помещения для обработки и временного хранения использованных материалов и отходов имеют класс чистоты Г и должны иметь две степени очистки фильтрами – G4+F7.

Важно уточнить, что СП 158.13330.2014 [3] распространяется на проектирование новых, реконструируемых, капитально ремонтируемых зданий медицинских организаций, а также помещений медицинского назначения, встраиваемых в жилые, общественные и производственные здания (независимо от формы собственности) и обеспечивает выполнение технических, санитарно-эпидемиологических и эргономических требований. Кроме того, появляется возможность включать такие результаты в цифровые модели учреждений [6, 7].

*Результаты и выводы.* Системы вентиляции существующих медицинских организаций при проведении работ по капитальному ремонту, реконструкции или приспособлении действующих отделений под новый функционал необходимо оборудовать многоступенчатой системой фильтрации приточного воздуха, а также там, где это требуется в соответствии с нормативными документами, монтировать фильтры требуемых классов очистки на вытяжных системах.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха/ Дата введ.: 01.07.2021.
2. СП 2.1.3678-20. Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг (с изм. на 14.04.2022) / Дата введ.: 01.01.2021.

3. СП 158.13330.2014. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования (с изм. №1-3) / Дата введ.: 01.06.2014.
4. ГОСТ Р 52539-2006. Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования / Дата введ.: 01.01.2007.
5. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования / Дата введ.: 01.10.2008.
6. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // НТВ СПбГПУ. Экономические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 20–30.
7. Баденко В.Л., Ядыкин В.К. Цифровая трансформация промышленности и предприятий: роль и место BIM технологий // В сборнике: Цифровая трансформация экономики и промышленности. Сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием. – 2019. – С. 506–516.

УДК 697.91

Ф.М. Семенов, Р.А. Ревенко, В.Л. Баденко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ВОЗДУШНЫЕ ФИЛЬТРЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА

*Цель работы* – составить правильную классификацию воздушных фильтров для систем вентиляции, а также разобраться с требованиями к их маркировке.

Согласно п. 7.1.1 СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [1] вентиляцию следует применять для обеспечения требуемого качества воздуха и параметров микроклимата в помещениях. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать подачу в помещения воздуха с содержанием вредных веществ, не превышающим предельно допустимых концентраций для таких помещений или для рабочей зоны производственных помещений. С этим успешно справляются элементы фильтрации воздуха вентиляционных систем. Наружный воздух, используемый для подачи в помещения, имеет различные характеристики и состав, а предъявляемые требования по чистоте подаваемого воздуха различаются в зависимости от назначения и категорий обслуживаемых вентиляционными системами помещений. В зависимости от этих факторов необходимо использовать фильтры, обеспечивающие различную степень очистки. Однако, стоимость фильтрующих элементов и периодичность их замены составляют основу расходов на эксплуатацию систем вентиляции. Поэтому рассмотреть разнообразие воздушных фильтров является важной задачей.

Помимо вышеуказанного СП 60.13330.2020 [1], требования к фильтрам предъявляются в следующих международных и российских нормативных документах:

- ГОСТ 30528-97 «Системы вентиляционные. Фильтры воздушные. Типы и основные параметры» [2];
- ГОСТ Р 51251-99 «Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка» [3];
- ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, НЕРА и ULPA» [4];
- ГОСТ Р ЕН 779-2014 [5] и EN 779:2012 «Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение технических характеристик» [6].

Воздушные фильтры разделяют по типам (по конструктивному исполнению самих фильтров и по конструктивному исполнению фильтрующей панели), а также по назначению и эффективности на группы и классы. В соответствии с ГОСТ 30528-97 [2] по конструктивному исполнению воздушные фильтры бывают рулонные, самоочищающиеся, ячейковые, панельные, электрические. По конструктивному исполнению фильтрующей панели самоочищающиеся фильтры бывают: сетчатые с подвижной и неподвижной панелью, шторчатые с гофрированной

или плоской шторкой; ячейковые из металлической или винилпластовой сетки, упругого стекловолокна, пористого, объемного или гофрированного материала, а также карманными (мешочными), с карманными пакетами. Фильтры также бывают с плоской, секционной или развитой фильтрующей поверхностью, с двухслойным фильтрующим материалом. По характеристике фильтрующей поверхности фильтры делятся на сухие и смоченные. В связи с большим разнообразием информации в нормативной документации классификация фильтров по эффективности очистки представлена в таблице 1. Маркировка фильтров общего назначения обычно содержит: наименование фильтра, его тип или условное обозначение; наименование и адрес предприятия-изготовителя, наименование страны; серийный номер фильтра; дату выпуска; класс фильтра по стандарту; направление потока воздуха.

Таблица 1 – Классификация фильтров очистки воздуха

Группа		Класс	Конечный перепад давления при испытаниях, Па	Средняя пылездерживающая способность $A_m$ по синтетической пыли, %	Средняя эффективность $E_m$ по атмосферной пыли, %	Интегральное значение эффективности, %
Фильтры грубой очистки		G1	250	$50 \leq A_m < 65$	–	–
		G2	250	$65 \leq A_m < 80$	–	–
		G3	250	$80 \leq A_m < 90$	–	–
		G4	250	$90 \leq A_m$	–	–
Фильтры тонкой очистки	Фильтры средней очистки	M5 (F5)	450	–	$40 \leq E_m < 60$	–
		M6 (F6)	450	–	$60 \leq E_m < 80$	–
	Фильтры тонкой очистки	F7	450	–	$80 \leq E_m < 90$	–
		F8	450	–	$90 \leq E_m < 95$	–
		F9	450	–	$95 \leq E_m$	–
Фильтры высокой эффективности	ЕРА	E10 (H10)	600	–	–	$\geq 85$
		E11 (H11)	600	–	–	$\geq 95$
		E12 (H12)	600	–	–	$\geq 99,5$
	HEPA	H13	600	–	–	$\geq 99,95$
		H14	600	–	–	$\geq 99,995$
Фильтры сверхвысокой эффективности, ULPA		U15	–	–	–	$\geq 99,9995$
		U16	–	–	–	$\geq 99,99995$
		U17	–	–	–	$\geq 99,999995$

Маркировку фильтра наносят на наружную сторону корпуса фильтра и упаковочную коробку. К маркировке фильтров, обеспечивающих специальные требования к чистоте воздуха, в том числе чистых помещений, добавляют значение размера наиболее проникающих частиц, эффективность при номинальной производительности для наиболее проникающих частиц, номинальную производительность и аэродинамическое сопротивление в Па при номинальной производительности.

В соответствии с ГОСТ Р ЕН 779-2014 [5] конструкцией и маркировкой фильтра должна быть исключена возможность его неправильного монтажа. Конструкцией фильтра должна быть обеспечена его плотная посадка в воздуховоде, исключая утечки по контуру герметизации при соблюдении порядка монтажа. Фильтр в сборе (фильтр и рама) должен быть изготовлен из материалов, устойчивых к воздействию температуры, влажности и коррозии. Конструкцией фильтра в сборе должна быть обеспечена устойчивость к механическим воздействиям, которые могут иметь место при обычной эксплуатации. Пыль или волокна, выделенные фильтрующим материалом в поток воздуха, не должны представлять опасности для людей и оборудования.

#### *Результаты и выводы*

В зависимости от класса эффективности воздушные фильтры применяют в системах вентиляции и кондиционирования, обеспечивающих специальные требования к чистоте воздуха, в том числе в технологических системах, в чистых помещениях, медицинских учреждениях, фармацевтической промышленности. Класс чистоты воздуха по концентрации частиц обозначается классификационным числом N ИСО. Предельно допустимые концентрации частиц для каждого порогового размера приведены в табл. 1 ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 [7] и должны быть использованы при цифровом моделировании [8, 9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха/ Дата введ.: 01.07.2021.
2. ГОСТ 30528-97. Системы вентиляционные. Фильтры воздушные. Типы и основные параметры. / Дата введ.: 01.01.2002.
3. ГОСТ Р 51251-99. Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка. / Дата введ.: 01.01.2000.
4. ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, НЕРА и ULPA. Часть 1: Классификация, методы испытаний, маркировка / Дата введ.: 01.12.2011.
5. ГОСТ Р ЕН 779-2014. Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение технических характеристик / Дата введ.: 01.12.2015.
6. EN 779:2012. Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance [Воздушные фильтры для задержания частиц примесей для общей вентиляции. Определение эффективности фильтрации] / Дата введ.: 11.04.2012; отменен с: 14.12.2016.
7. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1: Классификация, чистоты воздуха по концентрации частиц / Дата введ.: 01.12.2018.
8. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 20–30.
9. Баденко В.Л., Ядыкин В.К. Цифровая трансформация промышленности и предприятий: роль и место ВМ технологий // В сб.: Цифровая трансформация экономики и промышленности. Сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием. Под редакцией А.В. Бабкина. – 2019. – С. 506–516.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРОДЕ СОСНОВЫЙ БОР И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

*Введение.* В настоящее время актуализация проблемы шумового загрязнения в природных зонах, особенно прилегающих к автомобильным дорогам, представляет собой *актуальную* экологическую проблему. В частности, в городе Сосновый Бор Ленинградской области, расположенном вблизи интенсивно используемых транспортных артерий, шумовое загрязнение оказывает негативное влияние на лесные экосистемы, что приводит к нарушению условий обитания фауны и ухудшению физиологического состояния растений. Установка шумозащитных барьеров способствует созданию благоприятных условий для сохранения биоразнообразия, обеспечивает защиту животных от стресса, вызванного повышенным шумом, и предотвращает деградацию лесных массивов. Таким образом, их использование является целесообразным и с экологической, и социально значимой точек зрения.

*Целью работы* является изучение применения шумозащитных экранов в заданных условиях. В данном контексте она выступает как неотъемлемая часть стратегии развития устойчивого природопользования и экологической безопасности. Исследования, проведенные в рамках экологической инженерии, подтверждают эффективность шумозащитных экранов в снижении уровня шума, что положительно сказывается на состоянии природных комплексов [1].

Ряд требований, выставляемых при использовании шумозащитных экранов:

- Материальные требования. Выбор материалов критически важен. Должны использоваться экологически безопасные, негорючие и долговечные материалы, устойчивые к атмосферным воздействиям. Примером может служить использование специализированных полимерных материалов или обработанной древесины [2].
- Акустические характеристики. Экраны должны обеспечивать достаточный уровень звукоизоляции, что оценивается в соответствии [3].
- Экологические и эстетические требования. Важно, чтобы конструкции гармонично вписывались в природный ландшафт, не нарушая его целостность и не оказывая отрицательного влияния на флору и фауну. Также следует учитывать возможность интеграции шумозащитных экранов в экосистему, например, с использованием растительных компонентов.

Учет этих требований при проектировании и установке шумозащитных экранов в лесной зоне является ключом к эффективной защите от шумового загрязнения, сохранению биоразнообразия и поддержанию экологического баланса. Так же шумозащитные экраны выполняют несколько ключевых функций, направленных на обеспечение экологической безопасности и устойчивого природопользования:

- Защита от шумового загрязнения. Первостепенная функция этих конструкций заключается в минимизации шума от автомобильных дорог, который негативно влияет на животных и растения, а также на человека. Экраны эффективно поглощают и отражают звуковые волны, значительно снижая уровень шума в защищаемой зоне. Исследования показывают, что правильно спроектированные и установленные экраны могут снижать уровень шума на 10–15 дБ, что существенно улучшает качество среды обитания [3]. Шумовое загрязнение негативно сказывается на здоровье и поведении животных, влияет на репродуктивную функцию и миграционные пути птиц и насекомых. Экраны снижают уровень шума, создавая более благоприятную среду для живой природы

- Создание экологического барьера. Экраны также служат барьером, который предотвращает проникновение загрязняющих веществ и пыли с дорог в лесную зону, тем самым сохраняя чистоту воздуха, предотвращая загрязнение почвы и ухудшение ее гидрофизических характеристик [4–6].

Внедрение этих экранов является значимым шагом в обеспечении устойчивого взаимодействия городской инфраструктуры и природных экосистем, что подтверждается исследованиями в области экологии и природопользования и прямо влияет на качество жизни местного населения, снижая уровень шума в прилегающих к лесу жилых районах.

*Результаты.* По мнению авторов, подход к выбору материалов и их конструкции для шумозащитных барьеров следует осуществлять на основе строгих критериев. Эти критерии должны учитывать экологическую совместимость, долговечность и эффективность шумоподавления [7].

- Древесина. Экологически чистый и натуральный материал, часто используемый для шумозащиты. Его преимущества включают низкую теплопроводность, хорошие звукоизоляционные свойства и способность гармонично вписываться в природный ландшафт.
- Металл и полимерные материалы. Предлагают высокую прочность и долговечность. Особенно эффективны композитные полимерные материалы, способные поглощать и отражать звуковые волны, обеспечивая тем самым высокий уровень шумоизоляции.
- Зеленые экраны. Интеграция растительности в конструкцию экранов не только улучшает эстетику, но и способствует биоразнообразию, создавая дополнительный барьер для шума и пыли. Применение таких решений поддерживает экологическую устойчивость зоны.

*Вывод.* Предложенный подход позволяет на основе инструментов модельно-ориентированного системного инжиниринга проводить работы по шумоизоляции в цифровой среде [8–10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Айрбабамян С.А., Бугарёв Е.А. Виды шумозащитных экранов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2013. – Т. 4. – №. 1 (15). – С. 134–138.
2. ГОСТ Р 51943-2002. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности.
3. ГОСТ 32957-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Экраны акустические. Технические требования.
4. Полуэктов Р.А., Опарина И.В., Семенова Н.Н., Терлеев В.В. Моделирование почвенных процессов в агроэкосистемах. СПб.: СПбГУ, 2002. 148 с.
5. Баденко В.Л., Терлеев В.В., Латышев Н.К., Крылова И.Ю., Муравьева Л.С. Агрофизические исследования почвы для технологий точного земледелия: постановка задачи и метод // Плодородие. 2011. № 1 (58). С. 29–31.
6. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
7. Романов Н.В., Пегин П.А. Современные конструкции шумозащитных экранов // Noise Theory and Practice. – 2022. – Т. 8. – №. 1 (28). – С. 17–28.
8. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // НТВ СПбПУ. Экономические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 20–30.
9. Bolshakov N., Badenko V., Yadykin V., Tishchenko E., Rakova X., Mohireva A., Kamsky V., Barykin S. Cross-Industry Principles for Digital Representations of Complex Technical Systems in the Context of the MBSE Approach: A Review // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 10. – С. 6225.
10. Badenko V.L., Bolshakov N.S., Tishchenko E.B., Fedotov A.A., Celani A.C., Yadykin V.K. Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – №. 1 (101). – С. 10114.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДРУСЛОВОГО ВОДОЗАБОРА НА РЕКЕ СУСУЯ

*Цель исследования* – разработка мероприятий по обеспечению технической надежности и экологической безопасности систем технического водоснабжения электростанций. Системы технического водоснабжения включают в себя особые требования по экономичности и надежности. Хорошо организованный подвод воды – это надежная работа гидротехнических сооружений, входящих в систему технического водоснабжения. За последние годы возросло количество работ, связанных с реконструкцией и строительством подруслового водозабора, подающих воду на основное и вспомогательное оборудование на станции [1].

Из-за плохого состояния данных сооружений происходит сезонное изменение мутности циркуляционной воды, которая оказывает негативное влияние на работу обессоливающих установок и приводит:

- к увеличению расхода воды на собственные нужды сооружения (вода на взрыхление и отмывку материала);
- к увеличению расхода реагентов (кислоты, щелочи) на регенерацию ионообменного материала;
- к снижению срока эксплуатации ионообменного материала;
- к ухудшению качества обессоленной воды.

В работе на примере Южно-Сахалинской ТЭЦ приводятся сведения о функционировании подруслового водозабора на р. Сусуя, выявленных нарушениях проектного режима и рекомендациях по обеспечению нормального работоспособного состояния сооружения.

Рассматриваемый водозабор береговой насосной станции расположен в Сахалинской области, в г. Южно-Сахалинске, поселке Ново-Александровка, в 6 км севернее ТЭЦ-1. Водозабор эксплуатируется с сентября 1976 г., его проектная мощность составляет 670 м<sup>3</sup>/ч. Из водоприёмного колодца вода при помощи трех насосов подается на ТЭЦ-1. Общая протяженность трубопровода составляет 11 км. Речная вода с береговой насосной станции направляется на подпитку градирен, охлаждение механизмов и на обессоленную установку. Водозабор инфильтрационного типа выполнен из стальных перфорированных труб. Дрены располагаются на одной горизонтальной плоскости на расстоянии 5,5 м друг от друга. Водоприёмник включает в себя пять секций, присоединенных к коллектору, который подводит воду в колодец насосной станции. Инфильтрация осуществляется через двухслойную обсыпку: первый слой – песчано-гравелистый грунт, второй слой – щебень.

В настоящее время р. Сусуя в створе водозабора [2] имеет ширину русла по урезу воды 8–15 м при максимальной глубине 0,5–0,8 м. В летние и зимние меженные уровни воды в реке ширина русла составляет не более 5 м при глубине воды 20–30 см. По правому берегу водозабора в результате речных наносов образовалась коса шириной до 20 м [3], в результате чего до 2/3 рабочей площади водозабора оказались под этой косой. На остальной площади водозабора образовалась прослойка иловатых суглинков мощностью до 0,4 м над верхним слоем щебня обратного фильтра, с коэффициентом фильтрации от 0,012 до 0,033 м/сут., что является главной причиной низкой производительности водозабора. Одной из проблем также является недостаточная очищающая фильтрационная способность дрен, в результате чего в период паводковых явлений и осадков качество речной воды резко ухудшается.

В 2020 г. случилось очередное мощное извержение Южно-Сахалинского грязевого (точнее, газо-водо-лито-кластитового) вулкана, и огромный язык глины сполз в долину р. Алат



– правого притока р. Сусуя [2]. В настоящее время мутная взвесь постоянно поступает из р. Алат в р. Сусуя и загрязняет 63 км русла вниз по течению. В пробах воды увеличилось количество взвешенных веществ, глины и мелкодисперсных частиц. Таким образом, за последние 5–6 лет отмечено значительное ухудшение качества воды в р. Сусуя по следующим показателям: цветность; мутность; взвешенные вещества; коллоидные примеси.

Одним из вариантов было рассмотрение вопроса по установке здания на территории насосной с установкой в нем двух самоотмывающихся фильтров. При более детальной проработке вопроса от этого плана отказались по причине необходимости решать задачу хранения и дальнейшей утилизации образовавшихся в результате работы фильтров отходов, а также сложности строительства системы очистки в зоне нерестовой реки и ограниченности территории насосной. Также рассматривался вопрос о реконструкции подруслового водозабора и строительстве новой водоподготовительной установки, которая была смонтирована, но не введена в эксплуатацию по ряду причин.

В ходе инженерно-геологических изысканий была получена актуальная информация о рельефе и ситуации на участке производства работ, определено геологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия объекта, определен состав, состояние и свойства грунтов, выявлено наличие опасных геологических и инженерно-геологических процессов в пределах исследуемого участка изысканий.

*Результаты.* Предложено несколько вариантов для улучшения работы данного объекта. Наиболее целесообразным и более благоприятным в экологическом отношении выбран вариант восстановления производительности водозабора путем замены старых стальных дрен на новые полиэтиленовые высокой плотности (ПЭВП) и проведение строительства обратного фильтра. При реконструкции производится разборка и демонтаж конструкций, пришедших в негодность, а после проведения предварительных мероприятий и расчистки русла реки до проектных размеров, выполнение монтажных работ по строительству нового подруслового водозабора. Для сведения к минимуму экологического ущерба все земляные работы в русле реки должны производиться в зимнюю межень (декабрь–март) при условии бесперебойной подачи воды. Режим течения реки при этом остается неизменным, что исключает травмированные молоди рыб. На рис. 1 представлен предлагаемый вариант его реконструкции.

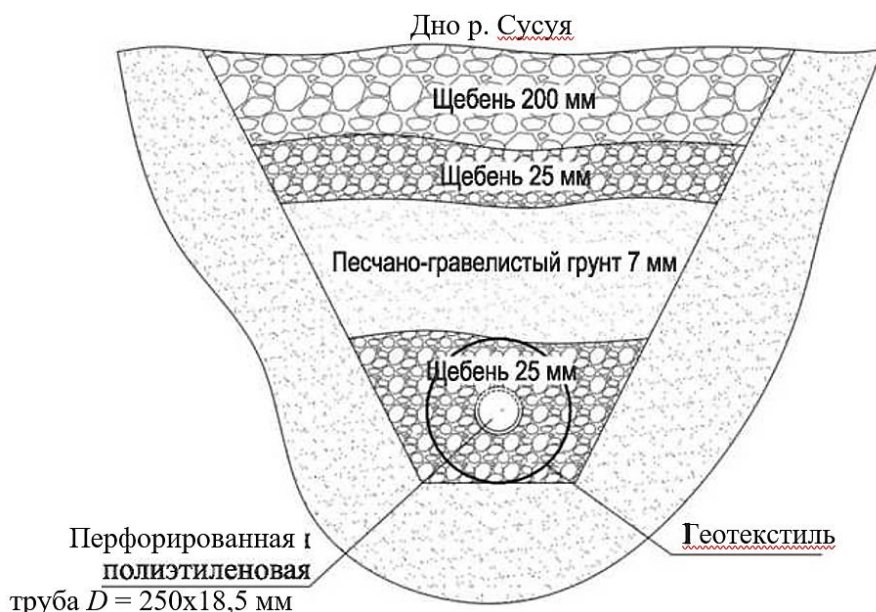


Рис. 1. Предлагаемый вариант реконструкции

Предложенная конструкция подруслового водозабора (см. рис. 1) соответствует всем природоохранным нормам [4, 5], экономически выгодна и обеспечивает надежную работу всей схемы технического водоснабжения.

*Выводы.* Предложенный вариант модернизации наиболее эффективен с точки зрения технологических решений и минимизации негативного воздействия на окружающую природную среду. При этом такое решение может быть интегрировано в создание цифрового представления сооружения [6–10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Силин-Бекчурин И.И. Динамика подземных вод. М: Издательство Московского университета, 1965. 298 с.
2. Чайко А.А. Влияние стоков городских коммуникаций и сельскохозяйственных предприятий на качество воды в реках юга Сахалина (на примере загрязнения вод реки Сусуи органическими веществами в 2007–2008 гг.) // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – 2009. – №. 1. – С. 24–30.
3. Чайко А.А. Гидрология и загрязненность рек юга Сахалина // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – №. 2. – С. 30–33.
4. П 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. М.: Стандартинформ, 2019.
5. Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002. Об охране окружающей среды.
6. Никоноров А.О., Баденко В.Л. Оценка динамики паводковых ситуаций на основе моделирования в среде геоинформационных систем для обоснования технических мероприятий // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2019. – Т. 294. – С. 75–89.
7. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225–231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).
8. Федоров М.П., Масликов В.И., Баденко В.Л., Чусов А.Н., Молодцов Д.В. Метод системного решения защиты от наводнений в речном бассейне // Гидротехническое строительство. – 2019. – №. 4. – С. 53–57.
9. Федоров М.П., Масликов В.И., Баденко В.Л., Чусов А.Н., Молодцов Д.В. Снижение риска наводнений распределенными на водосборе гидроузлами // Гидротехническое строительство. – 2017. – №. 5. – С. 2–7.
10. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // НТВ СПбПУ. Экономические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 20–30.

УДК 711.4

Ш.З. Магамдеров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ

*Введение.* Современные города стремительно развиваются и растут в размерах, что приводит к необходимости создания новых жилых пространств. Проектирование – это сложный процесс, который требует учета множества факторов и проблем. Среди главных проблем, которые возникают при проектировании, можно выделить следующие: недостаток жилых площадей, транспортная доступность и качество окружающей среды. Также существуют проблемы, связанные с созданием благоприятной среды для жизни и развития общества.

Существующий процесс проектирования – достаточно трудоемкий, а получаемый результат – весьма субъективен, особенно если речь идет о проектировании больших по площади объектов. В свою очередь генеративно-состязательные сети имеют большой потенциал для создания уникальных изображений, которые можно использовать за основу, что значительно ускорит и облегчит процесс дальнейшей работы. Таким образом, разработка методики проектирования при помощи генеративно-состязательных сетей является актуальной научно-технической задачей.

*Целью работы* является разработка и апробация методики создания планировок земельных участков при помощи генеративно-состязательных сетей.

Исходя из поставленной цели, определены следующие задачи:

- 1) исследование методов искусственного интеллекта;
- 2) разработка методики проектирования при помощи генеративно-состязательных сетей;
- 3) тестирование разработанной методики;
- 4) доработка методики по результатам тестирования.

Искусственный интеллект (ИИ) возник как дисциплина компьютерных наук в середине 1950-х гг. С тех пор было создано множество мощных инструментов, многие из которых находят практическое применение в проектировании для решения сложных задач, обычно требующих человеческого интеллекта [1]. Среди большого многообразия методов ИИ можно выделить несколько наиболее часто используемых в проектировании:

- Семантические сети – это структура данных, которая представляет знания об объектах и их взаимосвязях в виде графа, состоящего из узлов и связей между ними [2].
- Искусственные нейронные сети (ИНС). ИНС состоит из множества связанных нейронов, каждый из которых получает входные сигналы, обрабатывает их и передает результаты на выход [3].
- Нечеткая логика. Использование нечеткой логики, которая отражает качественную и неточную природу человеческих рассуждений, может позволить экспертным системам быть более устойчивыми [1].
- Эволюционное моделирование. Известно, что производительность нейронных сетей чувствительна к количеству нейронов. Слишком малое количество нейронов может привести к плохой аппроксимации, в то время как слишком большое количество нейронов может способствовать проблемы с подгонкой. Начиная с 1990-х годов, эволюционные алгоритмы (ЭА) успешно используются для оптимизации дизайна и параметров ИНС.
- ЭА – это алгоритм случайного поиска, который имитирует природный отбор и процесс эволюции [4].
- Машинное обучение используется для обучения машин тому, как обрабатывать данные эффективнее. Иногда после просмотра данных мы не можем интерпретировать информацию, извлеченную из данных. В этом случае мы применяем машинное обучение [5].

В последние годы все большее развитие получили генеративно-состязательные сети. Генеративные состязательные сети – это разновидность алгоритма искусственного интеллекта, разработанного для решения задачи генеративного моделирования. Целью генеративной модели является изучение коллекции обучающих примеров и вероятностного распределения, которое их породило [6–8]. Генеративные состязательные сети продемонстрировали большой потенциал в области архитектуры и проектирования и начали применяться в следующих сферах: разработка дизайна; дизайн фасадов; энергетическое моделирование; реставрация и ремонт; планирование землепользования; транспортное планирование; проектирование жилых районов и др.

*Результаты.* В рамках данного исследования разработана методика формирования планировки нового коттеджного поселка с использованием генеративно-состязательных сетей [7]. На рис. 1 приведена блок-схема разработанной методики.

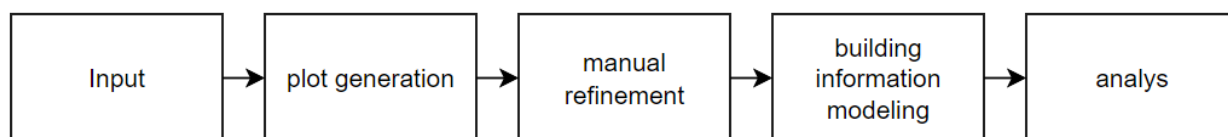


Рис. 1. Блок-схема методика формирования планировки нового коттеджного поселка с использованием генеративно-состязательных сетей

*Вывод.* Процесс планировки территории можно разделить на следующие этапы: обработка исходных данных; формирование участка работ; ручная доработка; информационное моделирование; оценка сгенерированной формы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Pham D.T., Pham P.T.N. Artificial intelligence in engineering // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 1999. – Т. 39. – №. 6. – С. 937–949.
2. Sowa J.F. (ed.). Principles of semantic networks: Explorations in the representation of knowledge. – Morgan Kaufmann, 2014.
3. Jain A.K., Mao J., Mohiuddin K.M. Artificial neural networks: A tutorial // Computer. – 1996. – Т. 29. – №. 3. – С. 31–44.
4. Ding S. et al. Evolutionary artificial neural networks: a review // Artificial Intelligence Review. – 2013. – Т. 39. – №. 3.
5. Mahesh B. Machine learning algorithms – a review // International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]. – 2020. – Т. 9. – С. 381–386.
6. Goodfellow I. et al. Generative adversarial networks // Communications of the ACM. – 2020. – Т. 63. – №. 11. – С. 139–144.
7. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В. Обработка данных с использованием глубокого обучения генеративно-состязательной нейронной сети (GAN) // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2021. – Т. 23. – №. 5. – С. 51–56.
8. Магомадов В.С. Глубокое обучение и генеративно-состязательные сети // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – №. 7. – С. 106–108.

УДК 626.01

А.О. Мохирева, В.В. Камский, В.Л. Баденко, Н.Н. Соколов, Е.М. Мелехин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

*Введение.* Сложные технические системы (СТС) характеризуются высокой степенью сложности, что требует разработки новых подходов к их управлению и моделированию [1]. В этом контексте методика Model-Based Systems Engineering (MBSE) предоставляет эффективные инструменты для декомпозиции СТС на управляемые компоненты и визуализации их структуры и функций. Однако существующие подходы MBSE не всегда позволяют полностью учесть все аспекты СТС из-за ограниченности доступных данных и их формата. *Актуальность работы* заключается в углублении методов MBSE за счет интеграции машиночитаемого формата документации и онтологического описания системы.

*Цель работы.* Исследование направлено на разработку методики, которая позволит перевести текстовое описание СТС в машиночитаемый формат, интегрируя полученные данные в цифровой паспорт через онтологическое моделирование и MBSE. Основными задачами являются: создание иерархической структуры на основе текстового описания, определение атрибутов и отношений элементов и разработка общего онтологического описания, которое будет служить основой для элементов цифрового паспорта.

Для обеспечения эффективного цифрового управления компонентами сложных технических систем (СТС) необходимо создать их точные цифровые модели. Эти модели должны адекватно отражать все аспекты СТС, включая требования, компоненты, функции и процессы [2]. Разработка таких моделей возможна только при условии глубокого понимания структуры и функционирования системы, которое обеспечивается через цифровизацию

нормативной документации и сопутствующей проектной документации. В этом контексте, цифровизация нормативной документации и ее последующая интеграция в моделирование СТС по MBSE-подходу становятся критически важными.

MBSE-подход подразумевает создание подробных моделей системы на основе требований и стандартов, содержащихся в нормативной документации. Он позволяет декомпозировать СТС на управляемые компоненты, обеспечивая глубокое понимание их структуры и функционирования через детальные визуальную визуализацию вербальных моделей по средствам матриц. Это значительно улучшает междисциплинарное взаимодействие, способствуя интеграции усилий различных специалистов. MBSE упрощает процессы верификации и валидации, обеспечивая высокий уровень трассируемости требований от начала до конца жизненного цикла СТС.

*Результаты.* Основываясь на потребности эффективного управления СТС, предложена методика, которая позволяет автоматизировать перевод текстового описания СТС в машиночитаемый формат и интегрировать полученные данные в цифровой паспорт системы [3]. Этот процесс начинается с детального анализа текстовых описаний, чтобы выделить ключевые элементы, такие как требования, компоненты, функции и процессы. Следующим шагом является создание иерархической структуры, отражающей взаимосвязи и зависимости между этими элементами. Каждому элементу присваиваются атрибуты, а также определяются типы отношений между ними, что обеспечивает четкую структурированность данных. Далее эта структурированная информация преобразуется в машиночитаемый формат (например, XML или JSON) с использованием разработанных алгоритмов [4]. Этот процесс не только облегчает автоматизацию, но и способствует более эффективному управлению и анализу данных. Ключевым аспектом методики является онтологическое моделирование, которое включает в себя разработку общего онтологического описания СТС. Это описание содержит всю необходимую информацию о структуре, атрибутах и отношениях между элементами системы, обеспечивая таким образом универсальное и единое понимание ее функционирования. В итоге эта информация интегрируется в цифровой паспорт СТС, что значительно упрощает процессы управления, мониторинга и обслуживания системы.

Онтологическое описание системы, которое включает в себя иерархическую структуру компонентов СТС, атрибуты этих компонентов и отношения между ними, служит связующим звеном между нормативной документацией и цифровыми моделями [5]. Это описание обеспечивает единое понимание всех аспектов системы и ее требований, что является необходимым условием для создания адекватных и функциональных цифровых моделей. Важным аспектом цифровой модели СТС является ее составляющие: математические модели, представленные алгоритмами в виде кода; и 3D модели, описывающие геометрию объектов. Точное соответствие между этими моделями и физическими объектами гарантируется за счет основания их параметров на онтологическом описании системы.

*Выводы.* Методика состоит из 4-х стадий. Первая стадия – это иерархическое представление компонентов СТС, которое позволяет четко структурировать и визуализировать взаимосвязи между различными элементами системы. На второй стадии к каждому компоненту добавляются специфические атрибуты, что обеспечивает более детальное понимание их свойств и возможностей. Третья стадия заключается в определении отношений между элементами системы согласно MBSE-подходу, включая требования, функции, компоненты и процессы. Это позволяет создать комплексное понимание взаимодействий внутри СТС и между ее составными частями. Завершающая стадия включает разработку онтологии, которая обеспечивает глубокое и систематизированное описание СТС, включая ее структуру, компоненты и динамику взаимодействий. В свою очередь, это станет основой для разработки метода интеграции цифрового паспорта и цифровых моделей процессов эксплуатации для создания интеллектуальной системы управления сложными

промышленными объектами. Результаты работы включают методику для эффективного перевода текстового описания СТС в структурированный машиночитаемый формат, что дает возможность автоматизировать генерацию элементов цифрового паспорта.

*Заключение.* Интеграция машиночитаемой документации и онтологического моделирования с принципами MBSE представляет собой мощный инструмент для создания точных и адаптивных цифровых моделей СТС [6–9]. Это обеспечивает более эффективное управление и эксплуатацию систем в условиях их постоянно растущей сложности и мультидисциплинарности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Bolshakov N., Badenko V., Yadykin V., Tishchenko E., Rakova X., Mohireva A., Kamsky V., Barykin S. Cross-Industry Principles for Digital Representations of Complex Technical Systems in the Context of the MBSE Approach: A Review. *Appl. Sci.* 2023, 13. 10.3390/app13106225.
2. Khandoker A., Sint S., Gessl G., Zeman K., Jungreitmayr F., Wahl H., Wenigwieser A., Kretschmer R. Towards a logical framework for ideal MBSE tool selection based on discipline specific requirements. *J. Syst. Softw.* 2022, 189. 10.1016/j.jss.2022.111306.
3. Arisekola K., Madson K. Digital twins for asset management: Social network analysis-based review. *Autom. Constr.* 2023, 150. 10.1016/j.autcon.2023.104833.
4. Dihan M.S., Akash A.I., Tasneem Z., Das P., Das S.K., Islam M.R., Islam M.M., Badal F.R., Ali M.F., Ahamed M.H. et al. Digital twin: Data exploration, architecture, implementation and future. *Heliyon* 2024, 10, e26503. 10.1016/j.heliyon.2024.e26503
5. Petri I., Rezugui Y., Ghoroghi A., Alzahrani A. Digital twins for performance management in the built environment. *J. Ind. Inf. Integr.* 2023, 33. 10.1016/j.jii.2023.100445.
6. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 20–30.
7. Баденко В.Л., Ядыкин В.К. Цифровая трансформация промышленности и предприятий: роль и место BIM технологий // Цифровая трансформация экономики и промышленности. – 2019. – С. 506-516.
8. Badenko V.L., Bolshakov N.S., Tishchenko E.B., Fedotov A.A., Celani A.C., Yadykin V.K. Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future // *Magazine of Civil Engineering.* – 2021. – №. 1 (101). – С. 10114.
9. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Ядыкин В.К. Информационное моделирование как инструмент управления активами // Цифровые технологии в экономике и промышленности (ЭКОПРОМ-2019). – 2019. – С. 630–637.

УДК 332.3:631.4

О.А. Мельничук, В.В. Терлеев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

*Введение.* Бережное отношение к земельным ресурсам и почвам определяет требование их охраны и рационального использования. Качественное состояние почвенного покрова имеет исключительно важное значение для организации сельскохозяйственного производства, качества продукции как растениеводства, так и животноводства, удовлетворения потребности населения в продуктах питания, а промышленности – в сырье [1]. Рассмотрение вопросов, связанных с исследованием почвенного покрова Симферопольского района Республики Крым, является *актуальной* научной задачей.

*Методология исследования* заключается в использовании таких общенаучных методов, как монографический, сравнительный и системный анализ.

Цель работы состоит в оценке современного состояния изученности почвенного покрова и определении перспектив использования почвенных ресурсов Симферопольского района Республики Крым.

Задачи исследования – проанализировать состояние изученности почвенного покрова Крымского полуострова и определить перспективные направления использования почвенных ресурсов Симферопольского района Республики Крым.

Обобщенная характеристика почвенного покрова Симферопольского района Республики Крым приведена в работе [2]. Однако отсутствие полной современной информации о состоянии и плодородии почв на настоящее время обуславливает необходимость актуализации материалов крупномасштабных почвенных обследований Крыма [3], проведенных Крымским филиалом Украинского института землеустройства («Укрземпроект») в 1957–1961 гг. Тогда было обследовано 84,5% территории Симферопольского района, за исключением территорий предгорной и горной областей Крымских гор.

Почвы, как компонент природной среды, формируются под воздействием многих факторов: материнских горных пород, климата, живых и отмерших организмов, рельефа и времени взаимодействия компонентов природы [3, 4]. Исходя из этого Н.А. Драган [4] выделяет следующие генетические типы почв: черноземы на различных подстилающих породах: предгорные и южные, черноземы предгорные выщелоченные, черноземы южные мицелярно-карбонатные; лугово-черноземные почвы (обычные, выщелоченные, карбонатные); дерновые карбонатные почвы; горные бурые лесные (буроземы). В этой же работе дана оценка степени пригодности почв для производства районированных культур (см. табл. 1). Объектом бонитировки являлись единицы почвенного покрова, используемые в земледелии и выделенные на почвенной карте Крыма [5].

Таблица 1 – Баллы бонитета почв (составлено по [4])

Наименование почвы	Сельскохозяйственная культура					
	Пшеница	Ячмень	Кукуруза	Виноград	Косточковые	Семячковые
Чернозёмы южные на лёссовидных породах	80	83	70	90	77	75
Чернозёмы на тяжёлых глинах	74	75	64	83	70	69
Чернозёмы предгорные карбонатные	77	79	69	86	76	75
Чернозёмы предгорные выщелоченные	87	88	77	95	84	81
Лугово-чернозёмные на лёссовидных породах	86	85	76	-	100	100
Дерновые карбонатные полнопрофильные	65	66	47	70	58	57
Горные бурозёмы	69	70	64	-	70	67

В справочном издании «Почвы Крыма и повышение их плодородия» [6] И.Я. Половицкий и П.Г. Гусев наряду с условиями почвообразования и особенностями почвенного покрова рассматривают характер изменений почв и их плодородия под воздействием природных и антропогенных факторов. Почвообразовательный процесс в Крыму протекает на фоне горизонтальной и вертикальной зональности. Детальная классификация почвенного покрова для возможного размещения виноградных насаждений в Симферопольском районе дана в работе [7] (см. табл. 2).

Таблица 2 – Классификация почв Симферопольского района по степени пригодности для производства винограда (составлено по [7])

Бонитет почвы, балл	Почвенная разность	Площадь, га	%
91–100	Черноземы предгорные выщелоченные на разных породах	6685,09	4,2
81–90	Черноземы преимущественно карбонатные щебневатые и галечные на элювии плотных и галечных карбонатных и окарибончатых пород	21877,6	13,8
	Черноземы карбонатные на элювии и делювии карбонатных пород	1594,38	1
	Черноземы на плотных глинах	28549,35	18
	Черноземы южные слабогумусированные, мицеллярно-высококарбонатные	3545,44	2,2
	Черноземы южные слабогумусированные, мицеллярно-карбонатные	3985,28	2,5
	Черноземы предгорные на плотных карбонатных породах	37244,09	23,5
71–80	Черноземы предгорные солонцеватые преимущественно на плотных засоленных глинах	2117,52	1,3
61–70	Черноземы южные слабо- и среднесолонцеватые	3,95	0,01
	Дерновые карбонатные почвы на элювии плотных карбонатных пород	27227,64	17,2
	Дерновые почвы на элювии некарбонатных пород	1118,63	0,7
60 >	Луговые черноземные почвы	141,78	0,1
	Луговые черноземные карбонатные почвы	714,36	0,5
	Луговые черноземные почвы	1690,97	1,1
	Луговые карбонатные почвы	2905,22	1,8
	Бурые горнолесные маломощные щебневатые насыщенные почвы	1746,95	1,1
	Луговые-черноземные глубоко-, средне- и сильносолонцеватые почвы	337,61	0,2
	Темно-бурые и бурые горные остепненные почвы	3081,55	1,9
	Всего	144567,4	100

Применительно к плодоводству почвенные ресурсы Крыма наиболее полно описаны в [8]. Почвы, пригодные для выращивания плодовых культур, классифицируются следующим образом: чернозёмы южные, распространены в более пониженной и засушливой части южной степи и приурочены к плоским широким межбалочным водораздельным пространствам; чернозёмы южные мицеллярно-карбонатные – распространены в пределах высокой степи; чернозёмы обыкновенные предгорные мицеллярно-карбонатные; дерново-карбонатные почвы имеют широкое распространение в предгорной степи и лесостепи. Среди продукции растениеводства наиболее пригодными для выращивания в природно-климатических и почвенных условиях Симферопольского района Республики Крым являются пшеница, ячмень и кукуруза на зерно. Овощные культуры требуют полива.

*Результаты.* В связи с тем, что в настоящее время не проводятся полноценные крупномасштабные почвенные обследования, истинное состояние почвенного покрова Симферопольского района Республики Крым достоверно неизвестно. Возможны изменения в качественных характеристиках почв: например, изменения в кислотности, содержании органического вещества и других свойствах почв. Изменения границ почвенных разностей и качественных характеристик почвенного покрова Симферопольского района Республики Крым обуславливаются такими факторами как: климатические изменения; интенсивное антропогенное воздействие; изменение гидрогеологических и солевых режимов почв в связи с прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу и связанными с этим изменениями режимов орошения и др. Климат на Крымском полуострове изменяется к более засушливому [9]. Поэтому следует безотлагательно провести крупномасштабные почвенные обследования с учетом новой номенклатуры почв, принятой в Российской Федерации.



*Вывод.* Почвенные ресурсы Симферопольского района Республики Крым (при условии обеспечения достаточного количества влаги, органических и минеральных удобрений, микроэлементов, соблюдения современных почво-сберегающих агротехнологий) пригодны для получения высоких устойчивых урожаев всех районированных сельскохозяйственных культур [10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Полуэктов Р.А., Опарина И.В., Семенова Н.Н., Терлеев В.В. Моделирование почвенных процессов в агроэкосистемах. СПб.: СПбГУ, 2002. 148 с.
2. Докучаев В.В. Русский чернозем / Отв. ред. Б.Ф. Апарин. СПб.: Русская коллекция, 2008. – 480 с.
3. Мельничук А.Ю., Закаличная О.В. Анализ состояния и пути достижения устойчивого сельскохозяйственного землепользования в условиях Симферопольского района Республики Крым // Международный сельскохозяйственный журнал. – ООО «Электронная наука», 2021. – № 2 (380). С. 20–24.
4. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма: науч. моногр. / 2-е изд., доп. Симферополь: ДОЛЯ, 2004. – 208 с.
5. Карта почв Украинской ССР. Масштаб 1:200 000 / гл. ред. М.К. Крупский. Министерство сельского хозяйства УССР, Укрземпроект, 1967.
6. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь, 1987. – 152 с.
7. Иванченко В.И., Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Булава А.Н., Борисова В.Ю. Оценка почвенных показателей Симферопольского района для многоцелевого производства винограда // Русский виноград, 2019. Т. 10. С. 156–166.
8. Современное интенсивное плодоводство Крыма / В.И. Копылов, Е.Б. Балыкина, И.Б. Беренштейн, В.А. Бурлак, Н.Е. Опанасенко, В.А. Рябов и др. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2017. – 548 с.
9. Мельничук А.Ю., Закаличная О.В. Формирование устойчивого землепользования в условиях Крыма // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – Издательский дом «Панорама», 2021. – № 9. – С. 657–665.
10. Medvedev S., Topaj A., Badenko V., Terleev V. Medium-term analysis of agroecosystem sustainability under different land use practices by means of dynamic crop simulation // IFIP. 2015. Vol. 448. P. 252-261. DOI: 10.1007/978-3-319-15994-2\_25.

УДК: 631.423.2

М.В. Ивакин

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

### ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛАГОМЕРА МГ-44 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ

*Введение.* Определение влажности почв в полевых условиях является важной задачей для правильного онтогенеза сельскохозяйственных культур и зачастую требует оперативности принятия технологических решений для последующего проведения гидромелиоративных, агрохимических, почвозащитных и др. мероприятий (в том числе с использованием математических моделей) [1–4]. В мировой практике широко используются различные портативные приборы для экспрессного определения влажности почвы. В отечественной практике широкое применение получил влагомер МГ-44. На территории Республики Крым влагомер МГ-44 тестировался на предгорных черноземах [5]. Результаты тестирования показали высокую степень соответствия данным о влажности почвы, полученным термостатно-весовым методом (с коэффициентом детерминации от 0,5 до 0,9).

*Цель исследования* – провести оценку точности определения значений влажности почвы по влагомеру МГ-44 в сравнении с показаниями абсолютной весовой влажности по термостатно-весовому методу. Выполнить статистическую обработку полученных данных. Выявить закономерности погрешностей для данного типа почвы с дальнейшей возможной корректировкой калибровочной кривой влагомера МГ-44.

Конструкция влагомера МГ-44 представляет собой сочетание электронного блока и электродного датчика, соединенных сигнальным кабелем. Прибор предназначен для

измерения относительной влажности почвы (грунта) при помощи чувствительного датчика. Определение влажности производится с использованием косвенного метода измерения: величина принятого излучения электромагнитной высокочастотной волны пропорциональна содержанию воды, которое после обработки отображается на индикаторе как значение относительной влажности.

Излучаемые датчиком электромагнитные колебания распространяются в контролируемой среде, причем часть излучения поглощается молекулами воды, а оставшаяся часть воспринимается датчиком [6, 7]. Для различных типов почв (грунтов) в меню прибора существует возможность сохранения калибровочных параметров отдельно.

*Результаты.* Отбор проб на термостатно-весовой анализ проведен во второй декаде февраля на трех полях (чистый пар, озимая пшеница, озимый ячмень) в с. Клепинино Красногвардейского района Республики Крым.

Образцы почвы взяты для каждого поля в трехкратной повторности на глубину 30 см через 10 см с помощью ручного бура. Замеры влагомером осуществлены на расстоянии 1 м от почвенных скважин по слоям: 0–10; 10–20; 20–30 см.

Для данного участка типичной почвой, согласно почвенной карте Крыма [8], является чернозем южный мицеллярно-высококарбонатный слабо-гумусированный. Поэтому при замерах влажности почвы с помощью влагомера использована модель «чернозем». Наименьшая влагоемкость (НВ) для данного типа почвы составляет по слоям: 0–20 см – 32,74%, 20–30 см – 28,34% [9]. Результаты полученных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Осредненные данные оценки влажности почвы

№ поля	Слой почвы, см	Влажность почвы, % (от НВ)	Влажность почвы, % (по влагомеру МГ-44)	Разность значений, %
1 (Пар)	0–10	86,65	67,68	18,97
	10–20	77,99	70,97	7,02
	20–30	83,87	73,77	10,10
2 (Озимая пшеница)	0–10	91,02	68,32	22,70
	10–20	80,38	72,68	7,69
	20–30	86,46	73,77	12,69
3 (Озимый ячмень)	0–10	86,96	69,88	17,08
	10–20	77,17	73,40	3,77
	20–30	87,93	73,94	13,99

Далее на основе полученных результатов проведена статистическая обработка данных по методам определения существенности различий между выборками (с использованием критерия наименьшей существенной разности – НСР<sub>01</sub> при 1-% ном уровне значимости) (табл. 2) [10].

Таблица 2 – Результаты статистической обработки данных

Показатель:	Глубина отбора почвенных образцов, см					
	0–10		10–20		20–30	
	Влажность почвы, % (от НВ)	Влажность почвы по влагомеру МГ-44	Влажность почвы, % (от НВ)	Влажность почвы по влагомеру МГ-44	Влажность почвы, % (от НВ)	Влажность почвы по влагомеру МГ-44
Дисперсия	5,54	2,90	4,26	2,39	4,69	0,92
Ошибка выборки	1,85	0,96	1,41	1,54	1,56	0,30
Ошибка разности	2,09		1,50		1,58	
НСР <sub>01</sub>	6,09		4,40		4,65	
Разность между выборочными средними, <i>d</i>	8,52		5,86		12,30	

По результатам статистической обработки разность между выборочными средними  $d$  составляет: 8,52; 5,86; 12,30 для интервалов: 0–10, 10–20, 20–30 см соответственно, а наименьшая существенная разность при 1-% ном уровне значимости  $НСР_{01}$  для данных глубин равна: 6,09; 4,40; 4,65.

*Выводы:* 1. Фактическая разность между вариантами превышает значение  $НСР$ , следовательно, различия между вариантами существенны по всем трем слоям. 2. Наибольшая погрешность (от 17–22 %) отмечается в самом верхнем (0–10 см) слое опробования (в менее плотном горизонте). Из анализа статистической обработки данных вытекает необходимость проведение дополнительной калибровки влагомера МГ-44 по всем горизонтам почвы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Полуэктов Р.А., Терлеев В.В. Моделирование вододерживающей способности и дифференциальной влагоемкости почвы // Метеорология и гидрология. 2002. № 11. С. 93–100.
2. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225-231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).
3. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
4. Бернштейн Г.А., Заславский Б.Г., Сариев А.Л., Терлеев В.В. // В сб.: Почвенные условия и эффективность применения удобрений в Западной Сибири. Омск: ОмСХИ, 1988. С. 101–107.
5. Кременской В.И., Дунаева Е.А., Умерова Л.Р., Терлеев В.В. Тестирование влагомера МГ-44 на предгорных черноземах в Крыму // В сб. «Неделя науки СПбПУ». материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт: 2019. С. 174–176.
6. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Влагомер грунта «МГ-44» [Электронный ресурс]. URL: [https:// texnogaz.ru/vlagomer-mg-44](https://texnogaz.ru/vlagomer-mg-44).
7. Быховец С.С., Шашков М.П., Фролов П.В., Зубкова Е.В., Иванова Н.В., Шанин В.Н. Об использовании емкостных влагомеров для мониторинга влажности лесных почв // В сб. тр. «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы». – М.: «КДУ», «Добросвет», 2019. – с. 266–270.
8. Карта почв Крымской области, масштаб 1:200 000, 1967, под редакцией профессора М.К. Крупского.
9. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия: Справ. изд. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
10. Рязанова Л.Г., Проворченко А.В., Горбунов И.В. Основы статистического анализа результатов исследований в садоводстве. Краснодар: КубГАУ, 2013. 61 с.

УДК 631.171

Н.Г. Бойко<sup>1</sup>, В.Ф. Попович<sup>1</sup>, Е.А. Дунаева<sup>1</sup>, В.В. Терлеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЦИФРОВОЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ИХ РАЗВИТИЯ

*Введение.* Республика Крым относится к региону с рискованным земледелием, поэтому управление сельскохозяйственным производством должно быть основано на принципах постоянного контроля за состоянием сельскохозяйственных культур. Получить такие данные на больших территориях можно с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и применением геоинформационных технологий [1]. Мониторинг состояния и условий произрастания сельскохозяйственных культур возможен с использованием вегетационных индексов, цифровых моделей рельефа, почвенных карт, метеорологических данных, материалов

полевых исследований, статистических данных и прочих материалов. Использование этих данных позволяет существенно снизить материальные затраты на проведение мониторинга, а также иметь актуальную информацию [2]. Повышение устойчивости производства продукции растениеводства по отношению к агроклиматическим факторам, а также конкурентоспособности на мировом рынке являются наиболее *актуальными задачами* агропромышленного комплекса. Поддержка сельскохозяйственного производителя включает в себя интенсивное внедрение цифровых технологий в производство и управление [3].

*Цель исследования* – анализ цифрового подхода к оценке прогнозируемой эффективности возделывания сельскохозяйственных культур.

Процесс прогнозирования урожайности включает следующее: оценку состояния полей по вегетационным индексам; статистическую обработку результатов мониторинга; создание моделей роста и построение регрессионных зависимостей продуктивности от вегетационных индексов. При построении таких зависимостей в качестве данных ДЗЗ используют вегетационный индекс NDVI, представляющий собой показатель количества активной биомассы [4, 5].

Пример уровня связи NDVI – урожайность для озимой пшеницы приведен на рис. 1 (данные 2020–2023 гг., посевы ФГБУН «НИИСХ Крыма» в границах Клепининского с/п). Приведенный в примере уровень связи характеризуется как высокий, близкий к очень высокому (коэффициент корр. равен 0,79). Возделывание культурных растений включает в себя выполнение полевых работ, таких как: осуществление комплекса мероприятий по защите растений; применение научно-обоснованных доз удобрений, норм высева семян; обработку почвы и т.д.

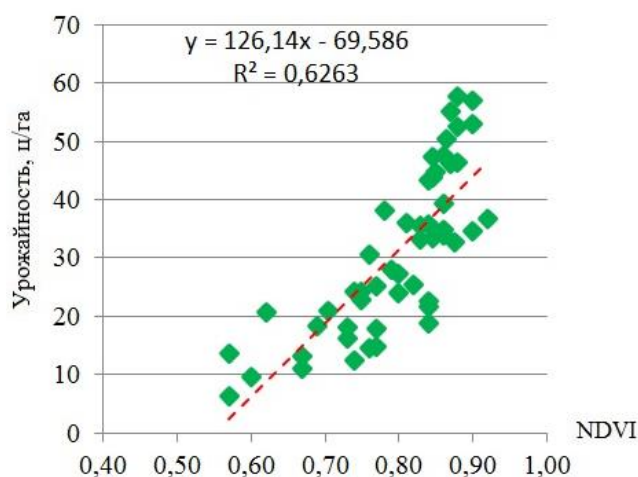


Рис. 1. Пример уровня связи NDVI с урожайностью озимой пшеницы (данные 2020–2023 гг.)

При проведении мероприятий системы земледелия в каждом регионе необходимо учитывать почвенно-климатические условия и обеспеченность региона влагой, теплом, элементами почвенного питания растений [6]. Каждая сельскохозяйственная культура требует индивидуального подхода к обработке почвы, внесению удобрений, способу сева (посадки), уходу и других агротехнических мероприятий, воздействующих на условия ее роста и развития, соответствующие свойствам и особенностям данной культуры [7].

*Результаты.* Для получения оценок экономической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур необходимо построение технологических карт (ТК). ТК являются основой для определения и расчета прямых затрат по каждому виду продукции: с их помощью проводится расчет потребности в технике, оборудовании, средствах защиты, удобрениях, семенном материале и др. ТК составляются либо по всем сельскохозяйственным культурам, выращиваемым на предприятии, либо по группам культур схожим по технологии возделывания [8].

		электроэнергия кв										б/вз										
		Топливо										64										
№	Наименование работ	Едн. изм.	Объем работ в физ. ед.	Состав агрегата				Обслуживающий персонал				Норма выработки	Количество версионов	Затраты труда, человеко-час		Оплата труда по тарифу на все работы, руб.	Высете затрат на оплату труда, руб.	Топливо		Всего затрат, руб.		
				трактора, автооб.	с. х. машина	Рядов работ	Тарифная ставка, руб.	Трактористы-машинисты	Работники ручного труда	Рядов работ	Тарифная ставка, руб.			механизатор	другие			механизатор	другие		количество, л	Стоимость, всего руб.
Культура	Оплата пшеница	Норма высева, кг/га	Всего семян, т	220					Программисты, л (Бригада супер-Найзер - 1л.1г + 1л.1г)				1+1		Урожайность, ц/га		Всего затрат, л					
Предшественник	Черный пар	Система удобрений	Всего семян, т	0,22					Грибыши, л (Сажок гурбо 0,1 л/га)				0,1		зерна		35					
Площадь, га	1	Всего гурба, т	2,02	+	0,09				инсектициды, л (Экспер 0,1 л/га)				0,1		МРОТ		19565					
1	2	3	4	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Душина старая	га	1	ДТ-75	ДТ-10	1	V	1934,40				26	0,04	0,31		74,40	74,40		3,9			249,60
2	Валаша	га	1	К-774	ППН-8-35	1	VI	2108,49				10	0,10	0,80		210,85	210,85		23			1472,00
3	Боронование збо	га	1	ДТ-75	БЗТ-992	1	V	1934,40				28	0,04	0,29		69,09	69,09		3,2			204,80
5	Культивация пара 4 раза	га	4	МТЗ-80	2ХПС-4	1	V	1934,40				22	0,18	1,45		351,71	351,71		4,3			275,20
6	Ползуха удобрений	т	2,11	КАР		1	III	1934,40	2	II	1493,71	40	0,05	0,42	0,42	102,04	78,79	180,83	1	2,11		135,04
7	Транспортировка мш. удобрений	т	2,11	ГАЗ-53		1	III	1475,50				почас.	0,13	1,04		191,82	191,82		1	1,00		64,00
8	Внесение мш. Удобрений (Р.К)	га	1	МТЗ-82	РМЛ-4	1	IV	1934,40				27	0,04	0,30		71,64	71,64		2	2,00		128,00
9	Культивация пара	га	1	МТЗ-80	2ХПС-4	1	V	1934,40				22	0,05	0,36		87,93	87,93		4,3			825,60
10	Припосевная культивация	га	1	МТЗ-80	2ХПС-4	1	V	1934,44				22	0,05	0,36		87,93	87,93		4,3			275,20
11	Проорана семян	т	0,22	ПС-10А					2	III	1493,71	60	0,01		0,06	10,95	10,95		0,1	0,1		
12	Ползуха семян	т	0,22	ЗМ-60					2	II	1493,71	450	0,01		0,08	14,94	14,94		0,1	0,1		
13	Транспортировка семян к удобрениям	т	0,31	ГАЗ-53		1	III	1475,50				почас.	0,13	0,04		191,82	191,82		1	1,00		64,00
14	Сев	га	1	МТЗ-80	СЗ-5,4	1	VI	2108,49	2	III	1493,71	16	0,06	0,30	0,50	131,78	93,36	225,14	3	3,00		192,00
15	Прикатывание	га	1	МТЗ-82	ЗКХШ-6	1	III	1628,40				37	0,03	0,22		44,01	44,01		1,5			96,00
16	Транспортировка удобрений	т	9	ГАЗ-53		1	III	1475,50				почас.	0,13	1,04		191,82	191,82		1	1,00		64,00
17	Ползуха 1 р. - 0,09 т/га	га	1	МТЗ-82	РМЛ-4	1	V	2108,49	1	III	1493,71	27	0,04	0,30	0,30	78,09	55,32	133,41	2	2,00		128,00
18	Транспортировка опил и доломитизатор	т	40	МТЗ-80	Примен-Бонка	1	III	1934,40				почас.	0,03	0,24		58,03	58,03		1	1,00		64,00
19	Внесение гербицида и фунгицида инсектициды 2 обработки	га	1	МТЗ-82	Амлон (2л/л)	1	VI	2959,10	1	IV	1493,71	45	0,02	0,18	0,25	65,76	33,19	197,90	1	1,00		64,00
20	Сбор урожая	га	1	АСКОС-550		1	VI	2108,49				15,5	0,06	0,32		1088,25	1088,25		7,7			492,80
21	Транспортировка зерна	т	3,3	ГАЗ-53		1	III	1936,50				почас.	0,06	0,48		939,12	939,12		0,36			23,04

Рис. 2. Пример расчета технологической карты, возделывания озимой пшеницы

На рис. 2 изображен пример технологической карты возделывания озимой пшеницы на территории Республики Крым. Технологические карты в цифровом виде позволяют оперативно проводить экономические расчеты возделывания сельскохозяйственных растений, а также осуществлять анализ эффективности их культивирования. При построении технологических карт также учитываются переменные и постоянные затраты. К переменным затратам относятся: семена, удобрения, средства защиты растений и др., а к постоянным – амортизация основных средств, расходы по управлению производством [9]. Для удобства расчетов ТК составляют на 1, 10 и 100 га посева (посадки) основной культуры или группы сельскохозяйственных растений, которые имеют сходство в отношении агротехнических мероприятий [7–9].

*Выводы.* Цифровой подход к оценке прогнозируемой эффективности возделывания сельскохозяйственных культур (с учетом мониторинга динамики их развития с использованием ДЗЗ и электронной ТК) имеет широкую перспективу практического применения для устойчивого роста урожайности агроценозов, а также для повышения конкурентоспособности АПК на мировом рынке.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мустафаев Б.А., Какежанова З.Е., Мустафаева Н.Б. Основы земледелия. Павлодар. Кереку, 2014.
2. Фомин Д.С., Чащин А.Н. Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИСХ // Известия оренбургского аграрного университета. 2018. №4(72).
3. Нейфельд В.В., Кадомцева М.Е., Осовин М.Н. Мониторинг климатических изменений и их влияние на зерновое производство Саратовской области с использованием данных дистанционного зондирования // Аграрный научный журнал. 2021. №10. С. 35–41.
4. Шмидт В., Латыпова А.М., Царенко А.А. Применение данных дистанционного зондирования Земли для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Региональные геосистемы. 2022. Том 46. № 4. С. 539–554.
5. Михайленко И.М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. СПб.: Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. 252 с.
6. Лымарь А.О., Кириченко В.П., Стоковская Т.М., Верещагин Л.Н. Технологические пооперационные проекты выращивания сельскохозяйственных культур на юге Украины (методические рекомендации) Министерство сельского хозяйства УССР. Николаев, 1982. С 32.
7. Николаев Е.В., Изотов А.М., Тарасенко Б.А. Растениеводство Крыма. Симферополь: Таврия, 2006.
8. Николаев Е.В., Назаренко Л.Г., Мельников М.М. Крымское полеводство. Симферополь: Таврида, 1998.
9. Степных Н.В., Нестерова Е.В., Заргарян А.М. Экономическая оценка сельскохозяйственных культур с помощью веб-приложения // Вестник Курганской ГСХА. 2020. С. 24–29.

УДК 551.50: 621.317

А.С. Волков, Ф.В. Фролов, Е.А. Дунаева  
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

#### РЫНОК МЕТЕОСТАНЦИЙ: ОСОБЕННОСТИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

*Актуальность:* почвенно-климатические условия выступают важным фактором ведения аграрной деятельности. Такие данные, как количество осадков, скорость ветра, температура и относительная влажность воздуха, гидрофизические характеристики почвы, определяют выбор возделываемых культур, назначение сроков их посева (посадки), проведения поливов, внесения удобрений и других агрохимикатов: эти данные необходимы и для прогнозирования урожайности агроценозов [1–4]. В ряде случаев информация, получаемая со стационарных метеостанций, не всегда соответствует фактической ситуации [5]. Для решения данной проблемы рекомендуется использовать широкопрофильные устройства, предназначенные для

определения метеорологических величин [6–10]. В Российской Федерации представлен широкий ряд моделей метеостанций, отличающихся ценой, количеством определяемых показателей, способом получения метеорологических величин.

*Цель работы* – провести исследование рынка метеостанций, включая анализ достоинств и недостатков рассматриваемых моделей.

Модели метеостанций, представленные на рынке РФ, можно условно разделить на четыре группы: малогабаритные, средние, широкопрофильные и созданные для работы в удаленных регионах (в том числе – с экстремальными погодными условиями). Рассмотрим каждую из них более подробно.

К первой группе относятся недорогие малогабаритные метеостанции, наиболее известным производителем которых является фирма MISOL. Они представлены широким спектром моделей: например, MISOL WS-WH24CP-1, MISOL RS485. Стоимость таких метеостанций варьирует от 7 до 15 тыс. рублей. В среднем они определяют 7 метеовеличин, а именно: температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, количество осадков и освещенность. Они больше подходят для оценки метеоусловий в помещениях, теплицах или на придомовых территориях (работают от электроаккумуляторов или от сети). Основным недостатком данной группы метеостанций является незначительный радиус передачи фиксируемой информации (не более 100 м).

Ко второй группе относятся метеостанции «переходного» типа между малогабаритными и широкопрофильными. Наиболее широко известными их производителями являются фирмы PCE и Bresser. Стоимость данных метеостанций варьирует от 25 до 50 тыс. рублей. Они представлены такими моделями, как Bresser 7, Bresser 5, PCE FWS 20N. Данные метеостанции определяют следующие показатели: температура и влажность воздуха, количество выпавших осадков, скорость и направление ветра, точка росы, освещенность (в зависимости от модификации перечисленный перечень может включать дополнительные показатели). Некоторые метеостанции этого типа, способны отправлять данные по Wi-Fi. Также они оборудованы небольшими солнечными панелями, что позволяет заряжать метеостанцию, когда она непосредственно находится на рабочем участке. В отличие от более дешевых аналогов, они всегда поставляются с дисплеем, на котором отображаются данные в режиме реального времени, но их передача происходит с некоторой задержкой.

Широкопрофильные метеостанции в основном представлены моделями торговых марок MeteoBot, Сокол М, Davis. Стоимость данных установок превышает 80 тыс. рублей, а для самых распространенных моделей варьирует от 150 до 350 тыс. рублей. Данные метеостанции характеризуются широким спектром отслеживаемых показателей, к которым относятся: температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, направление ветра, уровень осадков, точка росы, солнечная радиация, влажность почвы. В зависимости от модификации перечисленный перечень может включать дополнительные параметры. Питание метеостанций обеспечивается от аккумуляторных батарей, солнечных панелей. Фиксируемая информация передается на специализированные сервера для хранения, с которых она может быть скачена пользователями.

К четвертой группе относятся метеостанции, отличающиеся низким энергопотреблением, способностью работать в удаленных регионах, в экстремальных погодных условиях. Для них характерны: быстрота передачи данных, высокая надежность, возможность длительной работы в автономном режиме. Одним из представителей данной группы метеостанций является Vaisala AWS310, стоимость которой составляет около 6 млн. рублей.

*Результаты.* Исследованы особенности моделей двух брендов широкопрофильных метеостанций, которые содержатся на балансе ФГБУН «НИИСХ Крыма.

MeteoBot – метеостанция болгарского производства стоимостью около 350 тыс. рублей. Внешний вид модели данной торговой марки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Метеостанция MeteoBot

Данная метеостанция определяет следующие показатели: температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, количество выпавших осадков, солнечную радиацию, скорость ветра, точку росы, температуру почвы. Питание установки осуществляется за счет солнечной панели и аккумулятора. Передача данных происходит через GSM модуль. К основным недостаткам данного бренда, кроме значительной стоимости, в современной политической ситуации можно отнести возможные проблемы, связанные с получением информации с серверов, что обусловлено их расположением за пределами Российской Федерации.

Сокол М – метеостанция российского производства стоимостью около 200 тыс. рублей (рис. 2).



Рис. 2. Метеостанция Сокол М



Приобретенная ФГБУН «НИИСХ Крыма» модель отслеживает следующие показатели: температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, количество выпавших осадков, скорость и направление ветра. Ее питание осуществляется за счет солнечной панели и аккумуляторов. Передача данных работает благодаря модулям GSM и LoRa Wan. К недостаткам метеостанции данной торговой марки можно отнести: а) значительную стоимость; б) недостаточный для обеспечения длительной автономной работы размер солнечной панели; в) перебои в беспроводной передаче данных, обусловленные работой установок радиоэлектронной борьбы.

*Вывод.* Из результатов проведенного анализа следует, что, несмотря на широкий ряд моделей, представленных на рынке метеостанций, необходимо как усовершенствование существующих разработок, так и создание новых менее дорогостоящих вариантов, способных обеспечивать длительную автономную работу, фиксацию и хранение полученных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Баденко В.Л., Баденко Г.В., Терлеев В.В., Латышев Н.К. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL // Агрофизика. 2011. №3. С.1–5.
2. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42
3. Полуэктов Р.А., Терлеев В.В. Компьютерная модель динамики содержания азота в корнеобитаемом слое почвы // Агрохимия. 2010. № 10. С. 68–74.
4. Баденко В.Л., Терлеев В.В., Латышев Н.К., Крылова И.Ю., Муравьева Л.С. Агрофизические исследования почвы для технологий точного земледелия: постановка задачи и метод // Плодородие. 2011. № 1 (58). С. 29–31.
5. Волков А.С. Анализ потенциала использования автоматизированных метеостанций для сельского хозяйства // Материалы научно-практической конференции для студентов и молодых учёных. 2023. С. 120–121.
6. Вечерков В.В., Абдураимов С.Р., Дунаева Е.А. Разработка комплексной агрометеостанции, основанной на микроконтроллере // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 33 (196). С. 105–114.
7. Кирнос А.Е. Arduino – как средство автоматизаций сельского хозяйства // Вестник Кыргызстана. 2018. №1(4). С. 275–279.
8. Волков А.С., Фролов Ф.В. Создание датчика уровня осадков на базе Arduino // Материалы VIII международной практической конференции. 2023. С. 113.
9. Абдураимов С.Р., Вечерков В.В. Разработка многофункциональной метеорологической станции «Метеоконтроль» на плате Arduino // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023 Т.1. С. 201–203.
10. Филина Я.А. Использование автоматизированных метеостанций в сельском хозяйстве // Материалы V международной научно-практической конференции. 2020. С. 247–249.

УДК 631.1

М.В. Колодяжный, Е.А. Дунаева, Е.С. Барботкина  
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ВИНОГРАДНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА ПОСРЕДСТВОМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Введение.* NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный вегетационный индекс, который получил наиболее широкое применение в области количественной оценки фотосинтетически активной биомассы. В основе определения индекса лежат снимки различного пространственно-временного разрешения со спектральными

каналами в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75–1,00 мкм), являющихся наиболее информативными для характеристики растительности [1].

Расчет NDVI производится по формуле:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1),$$

где NIR и RED – отражение в ближней инфракрасной и красной областях спектра соответственно.

Изучению потенциала дистанционного зондирования Земли для оценки урожайности в виноградарской отрасли посвящено достаточно много научных трудов. В исследовании [2] проведена количественная оценка пространственной корреляции между картами урожайности виноградников сорта Пино Нуар в Калифорнии и интерполированными суточными временными рядами NDVI и LAI на основе снимков Landsat. Выявлено, что данные вегетационные индексы являются хорошими предикторами пространственной изменчивости урожайности с пиковыми корреляциями в определённые периоды вегетационного периода.

Для прогнозирования урожайности виноградников также используется комбинация вегетационных индексов, полученных на основе мультиспектральных изображений БПЛА, с методами компьютерного зрения. Благодаря использованию искусственных нейронных сетей (ИНС), вегетационных индексов и данных о проективном покрытии растительностью от общей площади полей/участков имеется возможность получить более высокую точность прогноза по сравнению с использованием только вегетационных индексов [3]. В статье [4] обсуждается взаимосвязь между вегетативной массой головы виноградного куста (оцененной с помощью NDVI) и состоянием плодов винограда. В работе [5] проведен анализ различий между картами NDVI, построенными с использованием: а) данных NDVI, измеренных датчиками, и б) данных дистанционного зондирования Земли (для выявления изменчивости урожайности виноградников).

*Цель исследования* – изучить использование NDVI для оценки состояния виноградников и пространственных изменений.

В статье [6] обсуждается прогноз урожайности сельскохозяйственных культур с использованием данных о погоде и временных рядов NDVI. В нем описана взаимосвязь между NDVI и продуктивностью сельскохозяйственных культур, дано представление о том, как эти факторы можно использовать для точной оценки урожайности.

В связи с тем, что исследования взаимосвязи урожайности виноградников и NDVI, актуальны в мире, а для умеренных широт отсутствуют исследования по прогнозированию урожайности виноградников посредством связи NDVImax-урожайность. Также стоит учитывать, что для каждого региона и каждого сорта необходимо корректировать коэффициенты уравнения линейной регрессии (для это накапливается ряд достоверных наблюдений не менее 5 лет не менее 30 участков с одинаковым сортом), поэтому в работе используются данные, рассчитанные на основе средних значений урожайности винограда для условия Крыма.

Из-за специфики субтропического средиземноморского климата отмечается сильная изменчивость хода графика NDVI (рис. 1.). В зависимости от конкретного сезона максимальные значения могут отмечаться вплоть до 37–39 недели (вторая половина сентября). Также разница средних значений между годами может варьировать в несколько раз, что усложняет прогнозирование урожайности. Например, 2020 г. был засушливым (осадков на 103% меньше, чем в 2021 г. и на 76% меньше, чем в 2022 г.), также средняя температура сентября (35–39 неделя) оказалась выше на 8° по сравнению с 2021 г. и на 4° по сравнению с 2022 г., что замедлило темпы вегетации и сместило NDVImax [7].

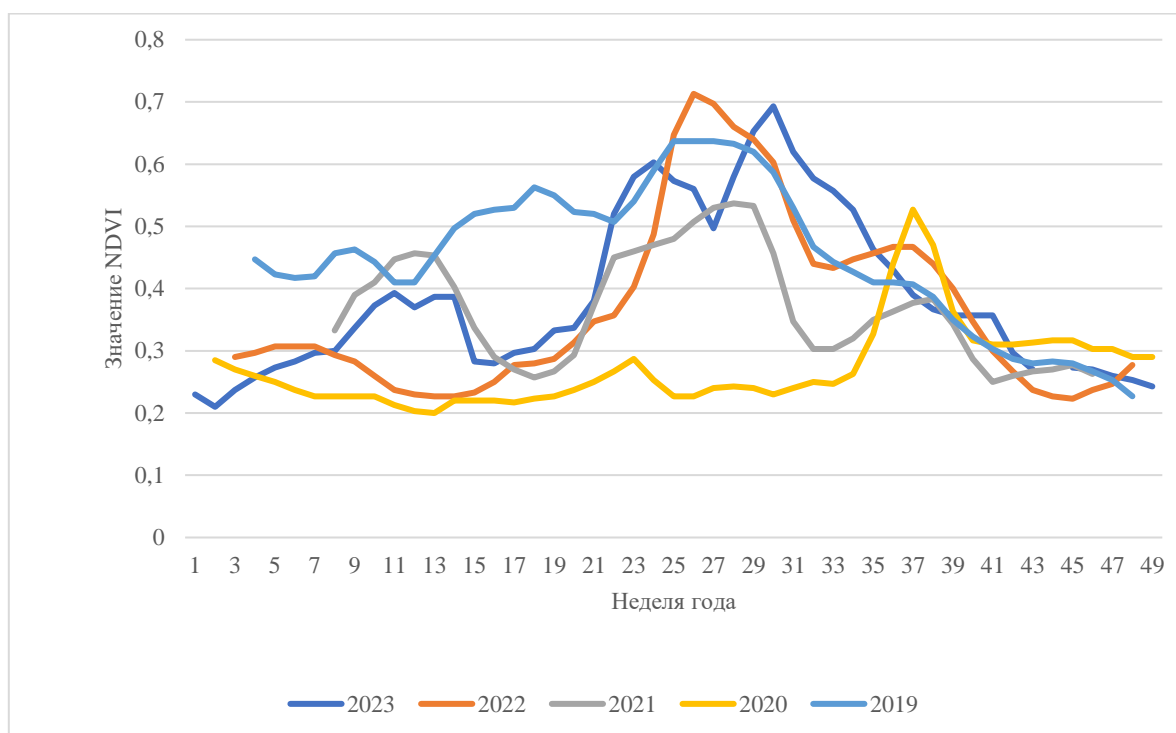


Рис. 1. График хода NDVI по годам для виноградника сорта Ркацители

*Результаты.* В качестве модельных участков были выбраны виноградники с шестью различными сортами винограда. Далее на них были рассчитаны максимальные значения NDVI в 2020–2023 гг. (табл. 1).

Таблица 1 – Значение NDVI<sub>max</sub> с 2020 по 2023 гг.

Сорт винограда	NDVI				Урожайность (прогнозная), ц/га			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Ркацители	0,53	0,54	0,71	0,69	74,44	75,17	87,54	86,09
Мускат белый	0,51	0,59	0,66	0,71	31,27	49,03	64,56	75,56
Каберне совиньон	0,43	0,62	0,65	0,65	2,21	54,02	62,19	62,19
Мускат оттонель	0,51	0,64	0,66	0,72	69,06	77,85	80,05	84,44
Шардоне	0,40	0,62	0,64	0,62	80,04	81,27	81,27	80,04
Пино серый	0,42	0,73	0,56	0,66	70,61	78,47	75,68	76,7

Показатели NDVI<sub>max</sub> и урожайности имеют высокую степень корреляции (от 0,76 до 0,98). На их основе были составлены уравнения регрессии для различных сортов винограда с использованием данных средних значений урожайности для Крыма. Также было рассчитано уравнение регрессии с учётом средних значений NDVI и урожайности по региону в целом ( $y = 288,33x - 142,69$ ). Полученные данные можно использовать при прогнозировании урожайности виноградников на территории Крыма.

В ходе работы определено, что пиковые значения NDVI виноградника в большинстве случаев приходятся на июль (26–29 недели года). Однако в зависимости от метеорологических условий в течение конкретного года максимум NDVI может смещаться в ту или иную сторону.

*Выводы.* При проведении исследования выявлены особенности и сложности прогнозирования урожайности виноградников. Прежде всего, стоит учитывать довольно большую погрешность при вычислениях, так как многие данные (NDVI, средняя урожайность по региону и т.д.) являются расчетными, что может увеличивать статистическую ошибку. Также при вычислениях следует принимать во внимание, что климатические условия произрастания в

Крым – довольно разнообразны (наиболее заметные отличия между горным и равнинным Крымом), что тоже может увеличивать погрешность расчетов. К прочим проблемам можно отнести недостаток статистической информации по урожайности: эта информация могла бы использоваться при корректировке методики или отдельных уравнений для более точного моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур [8–10]. Для повышения точности вычислений необходимо продолжать сбор данных о состоянии растений и урожайности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1973. Vol. 1. P. 309–317.
2. Sun L., Gao F., Anderson M.C., Kustas W.P., Alsina M.M., Sanchez L., Sams B., McKee L., Dulaney, W., White W.A., et al. Daily Mapping of 30 m LAI and NDVI for Grape Yield Prediction in California Vineyards. *Remote Sens.* 2017, 9, 317. <https://doi.org/10.3390/rs9040317>
3. Ballesteros R., Intrigliolo D.S., Ortega J.F. et al. Vineyard yield estimation by combining remote sensing, computer vision and artificial neural network techniques // *Precision Agric* 21, 1242–1262 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09717-3>
4. Giovos R., Tassopoulos D., Kalivas D., Lougkos N., Priovolou A. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture* 2021, 11, 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>
5. Kasimati A., Psiroukis V., Darra N., Kalogrias A., Kalivas D., Taylor J.A., Fountas S. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability.
6. Galphade M., More N., Wagh A., Nikam V.B. Crop Yield Prediction Using Weather Data and NDVI Time Series Data. In: Verma, P., Charan, C., Fernando, X., Ganesan, S. (eds) *Advances in Data Computing, Communication and Security // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2022. vol 106. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8403-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8403-6_23)
7. Архив погоды в Севастополе. URL: [https://gp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Севастополе](https://gp5.ru/Архив_погоды_в_Севастополе) (дата обращения: 01/03/2024).
8. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
9. Баденко В.Л., Баденко Г.В., Терлеев В.В., Латышев Н.К. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL // *Агрофизика*. 2011. №3. С.1–5.
10. Терлеев В.В., Полуэктов Р.А., Бакаленко Б.И. Структура информационного обеспечения модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур // *Агрофизика*. 2012. № 2. С. 29–36.

УДК 631.6.02

А.А. Манжос

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

### ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ СОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ ПИЛОТНОГО УЧАСТКА

*Введение.* Крым относится к вододефицитным регионам Российской Федерации. Поэтому фермеры для полива сельскохозяйственных угодий используют местные водные ресурсы поверхностных и подземных вод, в том числе – не всегда соответствующего качества, включая слабо- и маломинерализованные воды [1–3]. Самым простым методом определения солей в почвах является способ, при котором водная вытяжка из почвенного образца анализируется с помощью приборно-измерительного метода. Это быстрый способ определения солей, однако при сравнении результатов данного метода и способа определения сухого остатка по ГОСТу 26423-85 «Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки» на почвах, поливаемых ограничено пригодными водами, мы можем наблюдать расхождения [4]. Следовательно, оценка содержания в почве солей различными методами является актуальной.

Целью исследования было сравнение результатов анализов по определению солей в почве, поливаемой ограничено пригодными водами, с помощью различных методов на примере пилотного участка.

Пилотный объект исследования находился в Первомайском районе, в с. Правда. За период 2023 г. были изучены 6 почвенных скважин, по 5 горизонтов каждая. Глубина скважины – 100 см. Мощность каждого горизонта – 20 см. Выращиваемой культурой на данном объекте является капуста сорта «Хипо F1». Опыты по определению плотного остатка проводились на водной вытяжке из почвенных образцов по ГОСТу 26423-85 в 2-3х кратной повторности, исходя из погрешности результатов. Прибором для измерения электропроводности почвенной вытяжки служил многопараметровый анализатор качества воды в лабораторных и полевых условиях «Waterliner WMM-73».

Результаты измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Осредненные данные о содержании солей водной вытяжки почвенных образцов, определенные по ГОСТ 26423-85 и с помощью анализатора качества воды «Waterliner WMM-73»

Глубина отбора образцов, см	Содержание солей, %		Разность, %
	Согласно ГОСТу 26423-85	Согласно данным анализатора качества воды «Waterliner WMM-73»	
0–20	0,142	0,108	0,034
20–40	0,247	0,301	-0,054
40–60	0,210	0,259	-0,049
60–80	0,180	0,252	-0,072
80–100	0,172	0,229	-0,057

Из анализа таблицы 1 наглядно видно, что данные, характеризующие содержание растворимых солей в почве, полученные с помощью двух различных методов, отличаются. Разность колеблется от -0,072 до 0,034. Это свидетельствует о необходимости проведения статистической обработки с оценкой целесообразности использования анализатора качества воды «Waterliner WMM-73». Результаты статистической обработки данных приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки данных о содержании солей водной вытяжки почвенных образцов, определенных по ГОСТ 26423-85 и с помощью анализатора качества воды «Waterliner WMM-73» [5]

Показатель	Содержание водорастворимых солей в почве, %	
	Согласно ГОСТ 26423-85	Согласно данным анализатора качества воды «Waterliner WMM-73»
Дисперсия	0,002	0,005
Ошибка выборочной средней	0,018	0,033
Ошибка разности	0,037	
НСР <sub>01</sub>	0,125	
Разность между выборочными средними	0,040	

**Выводы.** Так как в ходе проведенных расчетов НСР<sub>01</sub> получилось больше разности между выборочными средними, то можно отметить, что между результатами данных согласно ГОСТу 26423-85 и согласно данным анализатора качества воды, нет существенного различия. Соответственно прибор «Waterliner WMM-73» можно использовать для оценки содержания водорастворимых солей в почве без дополнительных перерасчетов полученных данных, необходимых для диагностики агрохимического состояния почв, исследования почвенно-гидрологических условий и моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур [6–10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Манжос А.А. Оценка содержания солей в почвах, поливаемых ограниченно пригодными водами, на примере пилотного объекта / А.А. Манжос, В.В. Терлеев // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: Материалы VIII международной НПК, Симферополь. – Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2023. – С. 98–99. – DOI 10.5281/zenodo.8267962.
2. Подовалова С.В., Волкова Н.Е., Иванютин Н.М. Комплексная оценка пригодности водных ресурсов для орошения // Природообустройство. 2023. № 5. С. 13–19.
3. Волкова Н.Е., Кременской В.И. Подходы к снижению негативных последствий использования слабо- и маломинерализованных вод в орошаемом земледелии // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. №4. С. 224–242.
4. ГОСТ 26423-85. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – М.: Стандартиформ, 2011. – 6 с.
5. Рязанова Л.Г., Проворченко А.В., Горбунов И.В. Основы статистического анализа результатов исследований в садоводстве: учебно-методическое пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 61 с.
6. Терлеев В.В. Математическое моделирование в почвенно-гидрологических и агрохимических исследованиях. Учебное пособие / Том Выпуск 7. СПб.: СПбПУ, 2005. 104 с.
7. Полуэктов Р.А., Терлеев В.В. Компьютерная модель динамики содержания азота в корнеобитаемом слое почвы // Агрохимия. 2010. № 10. С. 68–74.
8. Терлеев В.В. Моделирование обмена, переноса и поглощения фосфора и калия в корнеобитаемом слое почвы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / АФИ РАСХН. Санкт-Петербург, 2001. 40 с.
9. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42
10. Medvedev S., Topaj A., Badenko V., Terleev V. Medium-term analysis of agroecosystem sustainability under different land use practices by means of dynamic crop simulation // IFIP. 2015. Vol. 448. P. 252–261. (DOI: 10.1007/978-3-319-15994-2\_25).

УДК 338.43

В.В. Попович, Е.А. Дунаева  
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

*Цель работы* – провести анализ использования статистических материалов и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга сельскохозяйственных земель (пашни) в районах Республики Крым с построением графиков зависимости урожайности от NDVI (Normalized differenced vegetation index).

Исследования проводились в трех пилот-районах Республики Крым: Красногвардейском, Первомайском и Сакском в 2014–2022 гг. для пахотных земель муниципальных районов. Применялись статистико-экономический метод, который предусматривает анализ и сбор статистических материалов, и расчетно-аналитический метод, который включает расчет урожайности сельскохозяйственных культур в зерновых единицах и уравнений и коэффициентов регрессии связи урожай – NDVI [1–3]. Для эквивалентного соизмерения объемов валовой продукции различных культур они переводились в зерновые единицы с использованием коэффициентов перевода в зерновые единицы [4]. Объемы валовой продукции каждой культуры умножаются на соответствующий коэффициент, суммируются, а затем рассчитывается урожайность для районов. Данные ДЗЗ – максимальные величины индексов NDVI за вегетационные периоды для пашни – получены с использованием онлайн сервиса «BEGA-Science» (ИКИ РАН) [5]. Для получения статистических данных – площадей и объемов валовой продукции по сельскохозяйственным культурам – использовались

статистические материалы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым [6].

*Результаты.* Полученные расчетные данные по урожайности в зерновых единицах и вегетационных индексов для пилот-районов Республики Крым приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения NDVI и урожайность сельскохозяйственных культур в зерновых единицах по трем районам Республики Крым

Наименование районов	Годы	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Коэф. корр.
Красногвардейский	NDVI	0,62	0,63	0,67	0,65	0,53	0,65	0,50	0,61	0,65	0,78
	Урож-ть, з. ед., ц/га	22,65	24,95	26,42	25,00	10,17	26,60	12,85	22,75	35,42	
Первомайский	NDVI	0,64	0,60	0,61	0,65	0,51	0,61	0,49	0,61	0,61	0,88
	Урож-ть, з. ед., ц/га	19,02	23,62	22,06	25,64	12,43	23,94	15,03	25,80	29,77	
Сакский	NDVI	0,64	0,65	0,63	0,67	0,53	0,63	0,52	0,63	0,65	0,79
	Урож-ть, з. ед., ц/га	18,02	22,22	21,81	22,51	12,32	20,14	15,20	23,05	29,18	

В таблице 2 приведены уравнения регрессии и величины коэффициентов детерминации, которые характеризуют предлагаемую модель.

Таблица 2 – Уравнения регрессии для сельскохозяйственных культур и значения коэффициента  $R^2$

Наименование районов	Уравнения регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$
Красногвардейский	$y = 113,5x - 46,506$	0,7753
Первомайский	$y = 75,42x - 22,742$	0,5644
Сакский	$y = 72,341x - 24,114$	0,6276

*Выводы.* Данные табл. 1 и 2 показывают, что связь между урожайностью сельхозкультур, выраженной в зерновых единицах, и вегетационным индексом NDVI достаточно тесная, а уравнения могут быть рекомендованы для прогнозирования урожайности сельхозкультур с учетом гидрофизических характеристик почв [7–10] по районам и по Крыму в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Barbotkina E., Dunaieva Ie., Popovych V., Pashetsky V., Terleev V., Mirschel W., Akimov L. Digital approaches in agriculture crop monitoring // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, AFE 2021 – Papers" 2021. Art. Number 032098.
2. Нейфельд В.В., Кадомцева М.Е., Осовин М.Н. Мониторинг климатических изменений и их влияние на зерновое производство Саратовской области с использованием данных дистанционного зондирования // Аграрный научный журнал. 2021. №10. С. 35–41. (DOI: 10.28983/asj.y2021i10pp35-41).
3. Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Попович В.В., Терлеев В.В. Цифровые технологии для мониторинга и прогноза развития сельскохозяйственных культур // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2018. С. 138–141.

4. Приказ Минсельхоза России от 06.07.2017 № 330 «Об утверждении коэффициентов перевода в зерновые единицы сельскохозяйственных культур» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-06.07.2017-N-330/?ysclid=ltddxd12d0806956565>. (дата обращения 28.02.2024).
5. Спутниковый сервис анализа вегетации ВЕГА-ПРО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pro-vega.ru/> (дата обращения 25.01.24).
6. Официальная статистика ФСГС по Республике Крым [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://crimea.gks.ru> (дата обращения 07.02.2024).
7. Терлеев В.В., Полуэктов Р.А., Бакаленко Б.И. Структура информационного обеспечения модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур // Агрофизика. 2012. № 2. С. 29–36.
8. Баденко В.Л., Баденко Г.В., Терлеев В.В., Латышев Н.К. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL // Агрофизика. 2011. №3. С.1–5.
9. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42
10. Баденко В.Л., Терлеев В.В., Латышев Н.К., Крылова И.Ю., Муравьева Л.С. Агрофизические исследования почвы для технологий точного земледелия: постановка задачи и метод // Плодородие. 2011. № 1 (58). С. 29–31.

УДК 332.334

А.О. Александров  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

## РОЛЬ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМЕЛЬНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА

*Введение.* В данной статье анализируется роль кадастровой оценки земель в формировании использования земельного потенциала Ленинградской области. Учитывается методология, применяемая при кадастровой оценке. Обосновывается необходимость отдельного подхода к кадастровой оценке различных типов земель, таких как: сельскохозяйственные, жилые, коммерческие и промышленные земли. Влияние кадастровой оценки на землепользование исследуется в контексте динамики рынка, фискальной справедливости и разрешения конфликтов, выявляя их многогранные последствия. Используются данные за период 2022–2023 гг., которые показывают тесную взаимосвязь между кадастровой оценкой, ценами на земли и региональным развитием Ленинградской области.

*Цель исследования* – показать актуальность кадастровой оценки земель в управлении земельными ресурсами в условиях рыночных отношений.

*Методы исследования.* В исследовании применяются следующие методы: абстрактно-логический, статистический, а также системный анализ.

Как известно, эффективное управление и использование земельных ресурсов является базисом устойчивого развития региона. Кадастровая оценка земель служит в качестве важного инструментария для определения рыночной стоимости земельных участков, обеспечивает условия справедливого налогообложения в сфере землепользования, а также способствует разрешению возможных земельных конфликтов [1]. Для сельскохозяйственных земель кадастровая оценка не ограничивается простыми пространственными параметрами; неотъемлемыми ее компонентами являются такие факторы, как плодородие почвы, топография и расположение по отношению к транспортной инфраструктуре [2, 3]. Оценка жилых земель включает в себя такие параметры, как плотность застройки, наличие инфраструктуры и близость к городским центрам. Коммерческие и промышленные земли (помимо пространственных параметров) учитывают такие экономические факторы, как рыночный спрос, доступность и потенциал развития региона.



Кадастровая оценка проводится для предотвращения незаконных спекуляций и обеспечение справедливого использования земельных ресурсов. Устанавливая рыночную стоимость, процесс направлен на устранение возможных нежелательных перекосов в ценообразовании на земли, способствуя формированию нормативно-правовой среды, которая снижает уровень несправедливого обогащения за счет незаконной спекулятивной практики [4]. Кадастровая оценка служит важным принципом справедливого распределения налогового бремени между землевладельцами и землепользователями, способствуя реализации фискальной политики, которая соответствует реальной рыночной стоимости земельных участков. Этот процесс повышает инвестиционную привлекательность земель, предоставляя четкую, надежную и объективную информацию о ценах на земли [5]. Обоснованная цена на земли, полученная в результате кадастровой оценки, способствуют созданию устойчивого земельного рынка, облегчая принятие решений инвесторами. Установление рыночной стоимости с помощью кадастровых процессов формирует объективную основу для разрешения возможных конфликтов [6].

*Результаты.* В рассматриваемый период (2022–2023 гг.) средняя удельная стоимость земель сельскохозяйственного назначения, являющихся важнейшей составляющей ресурсного потенциала региона, составила приблизительно 110 руб./м<sup>2</sup>. Всеволожский район, например, выделяется средней удельной стоимостью 334 руб./м<sup>2</sup>, что свидетельствует о повышенной инвестиционной привлекательности [7]. Это коррелирует с тем, что в районе развиваются проекты жилищного строительства, коттеджных и загородных поселков.

По данным Консалтингового центра «Петербургская Недвижимость», в первом квартале 2022 г. цена сотки земли на пригородном рынке Санкт-Петербурга и Ленинградской области выросла на 11 % [8]. Средняя цена купленного участка увеличилась на 20 %, достигнув 3,6 млн руб. В фокусе внимания оказался Выборгский район, продемонстрировавший существенный рост стоимости земли (благодаря своей популярности и элитному позиционированию). Средняя цена сотки в садоводческих и дачных поселках под Санкт-Петербургом и на видовых точках у залива возросла до 887 тыс. руб., что на 28,3 % выше, чем в предыдущем квартале [8].

Результаты кадастровой оценки свидетельствуют о существенной вариативности стоимости земель в различных районах Ленинградской области [9]. Данные за рассматриваемый период времени раскрывают не только экономические аспекты использования земель, но и потенциал региона для развития туризма. На гоночной трассе «Игора Драйв», изначально предназначенной для проведения гонок «Формулы-1», цены на земли выросли почти в два раза, что свидетельствует о потенциальных изменениях в использовании земель в зависимости от экономических приоритетов и целей регионального развития.

*Выводы.* Роль кадастровой оценки оказывает существенное влияние на планирование земельных ресурсов. Определение рыночной стоимости с учетом различных факторов служит надежной опорой для создания справедливых условий использования земельных участков. Расчет кадастровой стоимости, на которую влияют как динамика рынка, так и правовые аспекты, становится базисом справедливого налогообложения и поддержки неуклонного развития земельного рынка. Роль кадастровой оценки в формировании практики устойчивого развития рынка земель становится очевидной: этим вызвана необходимость проведения исследований и адаптации к изменяющемуся эколого-экономическому статусу региона землепользования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сулин М.А., Быкова Е.Н., Павлова В.А. Кадастр недвижимости и мониторинг земель: Уч. пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 372 с.
2. Оккель С.А. Земли сельскохозяйственного назначения и особенности их оценки / С.А. Оккель // Дальневосточный аграрный вестник. – 2014. – № 1(29). – С. 52–57.
3. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Волкова Ю.В., Терлеев В.В. Планирование инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем // Природообустройство. 2013. №3. С.32–37.

4. Хлопцов Д.М. Системные вопросы кадастровой оценки: роль института оценки в налоговой и бюджетной политике / Д.М. Хлопцов // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2014. – № 6(153). – С. 42–48.
5. Федорова Г.А. Земельный кадастр как инструмент повышения инвестиционной привлекательности земельных ресурсов / Г.А. Федорова // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2016. – № 1(11). – С. 278–282.
6. Штань, М.В. Конфликт между рыночной и кадастровой стоимостями / М.В. Штань // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2018. – № 8(203). – С. 34–49.
7. Аверина, В.В. Проблемные вопросы кадастровой оценки земель населенных пунктов / В. В. Аверина // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 декабря 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 345–348.
8. Консалтинговый центр «Петербургская Недвижимость» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pn.ru/>.
9. Кузьминова, К.А. О современных подходах к выбору моделей для расчета кадастровой стоимости объектов культурного наследия / К.А. Кузьминова, В.И. Волков // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 6. – DOI 10.55186/2413046X\_2023\_8\_6\_274.

УДК 332.33

В.Л. Богданов, В.В. Гарманов  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВ

Мониторинг земель проводится по всем категориям земель, включая и сельскохозяйственные угодья (при этом отдельно выделяются осушенные и неосушенные земли). Мониторинг земель относится к государственным мероприятиям для повышения эффективности управления земельными ресурсами. Мелиорированные земли относятся к наиболее ценным для сельскохозяйственного производства. Поэтому *актуальным* вопросом является учет и установление объективной оценки земель мелиоративного фонда. При мониторинге мелиорированных земель следует учитывать оценку качества почв.

*Цель исследования* – совершенствование методики мониторинга мелиорированных земель с использованием земельнооценочных критериев.

*Методы исследования.* В исследовании используются: абстрактно-логический и статистический методы, а также методы дистанционного мониторинга, сравнительного и системного анализа,

Начальным этапом земельнооценочных работ является бонитировка почв. Для бонитировки категорий земель производится их почвенно-мелиоративная оценка с выделением входящих в категорию агропроизводственных групп почв и определением площади земель [1]. Оценка почв категории земель отдельного хозяйства, района, области, региона производится по формуле [2]:

$$B_{\text{ок}} = \frac{(B_1 \Pi_1 K_1 + B_2 \Pi_2 K_2 + \dots + B_n \Pi_n K_n)}{\Pi_0} k_{\text{кл}},$$

где  $B_{\text{ок}}$  – общий балл оценки почв выделенной категории земель или агропроизводственной группы почв;  $B_{1...n}$  – средние оценочные баллы агропроизводственных групп почв, вошедших в выделенную категорию земель;  $\Pi_{1...n}$  – площадь, занятая каждой агропроизводственной группой почв в выделенной категории земель;  $K_{1...n}$  – средние коэффициенты поправки к оценке почв в баллах на условия земельных участков для каждой агропроизводственной группы почв;  $k_{\text{кл}}$  – поправочный коэффициент на климатические условия природно-сельскохозяйственного района;  $\Pi_0$  – общая площадь категории земель.

Бонитировка почв в баллах на отдельных земельных участках производится посредством деления участка на площади, занимаемыми различными агропроизводственными группами почв. Оценка мелиорируемых земель проводится в двух аспектах:

1) оценка земель мелиоративного фонда на основе мониторинга по состоянию на период проведения оценочных работ с учетом возможных изменений уровня интенсивности производства за 2–3 года, т.е. оценка при фактических условиях ведения сельскохозяйственного производства;

2) оценка земель мелиоративного фонда на основе мониторинга по состоянию после мелиорации с учетом различных способов регулирования водного режима и интенсивности окультуривания земель и возможного изменения уровня интенсивности сельскохозяйственного производства за 3–4 года (необходимый для проектирования, строительства и освоения мелиорированных земель [3–8]).

Земли мелиоративного фонда, подлежащие освоению в сельскохозяйственные угодья (болота, залесенные и закустаренные земли и т.д.), оцениваются только по показателям после мелиорации. В этом случае величина оценочных показателей одновременно является и величиной их прироста. Для бонитировки почв Европейской части Нечерноземной Зоны РФ принята 100-балльная замкнутая шкала, где степень окультуренности почв учитывается по пяти уровням: низкий, переходный от низкого к среднему, средний, повышенный, высокий. Шкала разработана отдельно для неосушенных и осушенных земель. Дифференциация показателей оценки в пределах шкалы по агропроизводственным группам почв или классам оценки производится с учетом влияния почвенных признаков и факторов, характеризующих мелиоративное состояние и окультуренность земель по шести группам культур. Информацией для оценки земель на конкретных объектах мелиорации служит характеристика участков (объекта) по составу и окультуренности почв, степени нарушения, нормального состояния участков, состоянию мелиоративных систем. Исходными материалами служат данные почвенно-мелиоративного и агрохимического обследования, результаты оценки мелиоративного состояния земель. Качественная оценка земель в баллах бонитета на объекте оценки (участок, категория земель) определяется на основе исходной информации по химическому составу почв и степени их окультуренности, характеристик состояния земель, оценки состояния осушительных систем, данных о возможных мероприятиях по повышению плодородия почв и нормативно-справочной информации по оценке земель мелиоративного фонда.

Качественная оценка земель в баллах бонитета для участка или категории земель определяется по агропроизводственным группам почв различного гранулометрического состава и степени окультуренности для каждой группы сельскохозяйственных культур по следующей формуле [2]:

$$Oz(1-6) = \frac{(B_1S_1 + B_2S_2 + \dots + B_nS_n)}{S_0} k_n(1-6)k_c(1-6)k_o k_d k_{кл},$$

где  $Oz(1-6)$  – качественная оценка земель в баллах бонитета (по группам культур 1–6);  $B_1, B_2, \dots, B_n$  – оценки в баллах бонитета агропроизводственной группы почв соответствующего гранулометрического состава и степени окультуренности;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  – площади агропроизводственных групп почв соответствующего гранулометрического состава и степени окультуренности, га;  $S_0$  – общая площадь агропроизводственных групп почв ( $S_1 + S_2 + \dots + S_n$ ), га;  $k_n(1-6)$  – средний коэффициент влияния состояния пахотного слоя и поверхности участка на качественную оценку земель (для групп культур 1–6);  $k_c(1-6)$  – средний коэффициент влияния состояния осушительной системы на качественную оценку осушенных земель (для групп культур 1–6);  $k_o$  – средний коэффициент влияния способа осушения на бонитет почв;  $k_d$  – коэффициент влияния особенностей литологического строения на бонитет почв;  $k_{кл}$  – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия.

При этом могут изменяться площади осушенных земель и степень их окультуренности (при простом комплексе мероприятий: происходит увеличение степени окультуренности примерно на одну категорию; при интенсивном окультуривании – на две категории; при известковании почв – увеличение степени окультуренности достигается в соответствии с планируемым показателем кислотности).

*Результаты.* Влияние условий территории на продуктивность земель проявляется двояко. Во-первых, некоторые из них – каменистость, микрорельеф, экспозиция и крутизна склонов, закустаренность – оказывают непосредственное влияние, на урожайность. Во-вторых, условия территории существенно влияют на затраты производства возделываемых сельскохозяйственных культур. Результаты проведенных исследований по нормированию полевых работ позволяют оценивать величину дополнительных затрат на преодоление неблагоприятного влияния того или иного фактора. Очевидно, что при разработке системы поправок к бонитетам почв обе стороны влияния условий территории и необходимо учитывать. Выявлено, например, что при мелкоконтурности угодий на малых участках продуктивная площадь уменьшается за счет недопашек и недосева на краевых участках и углах пашни. Однако при тщательной обработке поля и высоком качестве посева (что потребует дополнительных усилий) можно добиться использования всей площади участка. Балл оценки земель следует рассматривать в этом случае как показатель возможной продуктивности угодий при равных условиях производства.

*Выводы.* Агроэкологическую и технологическую оценку земель сельскохозяйственного использования следует проводить на основе поправочных коэффициентов, учитывающих рельеф и гидрологические условия, степень каменистости почв, закустаренность, контуры и размеры участка и др., а также коэффициентов, характеризующих степень загрязнения почвенного покрова. После вычисления среднего балла по основным критериям необходимо произвести его корректировку при помощи поправочных коэффициентов, учитывающих агроэкологические и технологические показатели угодий. Класс бонитета земель следует устанавливать путем корректировки среднего балла (умножением на поправочный коэффициент [9]).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Баденко В.Л., Богданов В.Л., Гарманов В.В., Осипов Г.К. Управление землепользованием: учеб. пособие – СПб.: Изд-во С.-Петерб. университета, 2017 с. 91–94.
2. Никитин И.Д., Артемьева З.Н., Григорошенко Е.Е., Карпенко О.А., Лохматов Е.М. Оценка земель мелиоративного фонда СПб: Изд-во Севниигим, 2010. 338 с.
3. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Волкова Ю.В., Терлеев В.В. Планирование инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем //Природообустройство. 2013. №3. С.32–37.
4. Полуэктов Р.А., Опарина И.В., Семенова Н.Н., Терлеев В.В. Моделирование почвенных процессов в агроэкосистемах. СПб.: СПбГУ, 2002. 148 с.
5. Терлеев В.В. Математическое моделирование в почвенно-гидрологических и агрохимических исследованиях. Учебное пособие / Том Выпуск 7. СПб.: СПбПУ, 2005. 104 с.
6. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Терлеев В.В., Латышев Н.К., Крылова И.Ю., Глядченкова Н.А. Определение водно-физических свойств почв при мелиоративных изысканиях // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 2. С. 18–21.
7. Арефьев Н.В., Венкель К.О., Миршель В., Баденко В.Л., Терлеев В.В., Волкова Ю.В. Комплексная оценка агромелиоративных систем для планирования их реконструкции // В сб.: Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата. СПб., АФИ. 2012. С. 468–472.
8. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
9. Апарин Б.Ф., Русаков А.В., Булгаков Д.С. Бонитировка почв и основы государственного земельного кадастра: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. университета, 2002. 86 с.

ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗОН ЗЕМЕЛЬ РЕКРЕАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Особенности любой природной среды определяются, в первую очередь, ее географическим положением. Не является исключением и территория Ставропольского края, где наряду с удивительным биологическим и ландшафтным разнообразием, существуют все условия благоприятной среды обитания для настоящего и будущего поколений: особенно это относится к предгорной части лесостепной зоны, где располагается регион Кавказских Минеральных Вод (КМВ) [1, 2]. Прекрасные климатические факторы, целебные минеральные воды, удивительный ландшафт, интересные памятники архитектуры и богатые культурные традиции делают этот регион неповторимым, уникальным и посещаемым туристами. Эти же факторы определяют и современный облик Кавказских Минеральных Вод, который заключается в оказании услуг лечебного и рекреационного характера.

*Актуальность* исследования заключается в том, что на данных территориях не всегда соблюдаются правила эксплуатации земель рекреационного назначения. Поэтому требуется установить основные виды этих нарушений.

В 1992 г. Кавказским Минеральным Водам был придан статус «Особо охраняемого эколого-курортного региона РФ», закреплены новые границы региона, куда вошли территории трех субъектов РФ: Ставропольского края 5243 км<sup>2</sup> (58 %), Карачаево-Черкесской Республики 1726 км<sup>2</sup> (33 %) и Кабардино-Балкарской Республики 485,5 км<sup>2</sup> (9 %) [3]. На основе комплексного исследования объемов, состояния и свойств природных ресурсов Министерство здравоохранения РФ приказом от 22 декабря 1999 г. включило КМВ в перечень уникальных курортных регионов России, где сохранились редкие виды растений и животных, интересные геологические и гидрологические комплексы, живописные урочища, исторические ландшафты. Именно благополучное состояние природных ландшафтов позволяет закрепить за данной территорией статус бальнеологического центра страны. К особо охраняемым природным территориям Кавказских Минеральных Вод относятся 17 геолого-морфологических памятников природы, 8 водных, 12 ботанических, 7 памятников садово-паркового искусства, 6 государственных комплексных природных заказников и один зоологический заказник краевого значения. Каждый из них имеет свое научное, культурное, природоохранное, рекреационное и оздоровительное значение. Общая площадь заказников, функционирование которых обеспечивает Дирекция особо охраняемых природных территорий, составляет более 101051 га.

*Целью работы* является изучение современных проблем рекреационных зон природных территорий Кавказских Минеральных Вод Ставропольского края.

В нашей стране существует своеобразная система природоохранных территорий, в которой (в зависимости от особенностей режима охраны) выделяются: заповедники (территория, на которой запрещен любой вид человеческой деятельности, за исключением научной); национальные парки (специально предназначенные для туристского использования); заказники (являющиеся особой формой охраняемой территории, на которой допускается хозяйственное использование части природных объектов в определенные сезоны на короткий срок, если это не наносит вреда охраняемым объектам, а также почвам с учетом их гидрофизических характеристик и агро-мелиоративного статуса [4, 5]). Обращает на себя внимание, что самой распространенной формой охраняемых природных комплексов на территории региона КМВ являются заказники, которые предназначены для сохранения

остатков естественных ландшафтов, поддержания благоприятного состояния окружающей среды и для дальнейшего развития курортной и туристской отраслей. Заказниками здесь являются водные акватории, участки суши, которые имеют особое значение для сохранения и восстановления природных комплексов или их компонентов. В большинстве случаев это – многоцелевые объекты, охранные функции которых направлены не только на охотничью фауну, но и на редкие и исчезающие виды млекопитающих, птиц, растений, а также на Памятники природы, расположенные в их границах.

Одним из таких заказников в Ставропольском крае является заказник краевого значения «Бештаугорский» площадью 16012 га, расположенный на территориях Минераловодского и Предгорного районов, история которого начиналась с Бештаугорского лесопарка [3]. В настоящее время это – земли самого Бештаугорского лесничества (11018 га), сельскохозяйственного предприятия «Горячеводский» (1994 га), государственного унитарного предприятия Ставропольского края «Герский племенной конный завод N 169» (3000 га), а так же территория девяти гор-лакколитов: Бештау, Машук, Развалка, Змейка, Лысая, Железная, Кинжал, Бык, Верблюд. Вся территория заказника покрыта растительностью, характерной для предгорной части, на которой произрастают широколиственные ясеневодубовые леса с примесью граба, вяза и клена. Южные склоны гор-лакколитов представлены зарослями кустарников и ксерофитными группировками. Однако, общее число видов растений, произрастающих в районе КМВ, еще далеко не учтено, каталог учтенных растений в настоящее время составляет более 2750 видов растений, тогда как на всем Кавказе насчитывается около 6000 видов растений, из которых 25 видов включены в Красную книгу Российской Федерации. Сохранить данный ландшафт в первозданном виде: это значит – сохранить не только здоровую среду обитания, но и базу гидроминеральных ресурсов, так как их область питания приходится на территорию Бештаугорского заказника.

Здесь же находятся и знаменитые города-курорты: Железноводск, Лермонтов, Пятигорск, где работают предприятия промышленного и агропромышленного комплексов, многие из которых не связаны с деятельностью курортов. В результате экономического развития городов-курортов вся территория региона (90 %) оказалась охваченной хозяйственной деятельностью, а на долю малонарушенных ландшафтов приходится только 10 %. Одна треть площадей пахотных земель Предгорного района вообще находится в охранной зоне курорта, по которой проходит зона залегания минеральных вод. В уже хорошо освоенных рекреационных зонах происходит расширение территорий, вовлеченных в хозяйственный оборот, например – необоснованный и неконтролируемый отвод земель под частное строительство, увеличивается степень распаханности земель территорий региона, что является недопустимым. После проведения обследования и межевания границ территория заказника оказалась уже не 16 тыс. га, а 12,738 га, в том числе лесного фонда – 3,228 га, земли сельхозназначения – 3,058 га, городские леса – 6,452 га. Основной причиной значительного уменьшения площади является нежелание администрации курортных городов и особенно Пятигорска, признавать существующие границы заказника, и как следствие – вовлекать территорию охраняемой зоны в хозяйственную деятельность.

*Результаты.* Согласно Генплану развития Пятигорска, принятому в 2009 г., 200 га земель первой и второй охранной зоны отданы под застройку коммерческой и другой недвижимости. Подобные действия администрации не в полной мере соответствуют действующему законодательству, так как на этих территориях запрещено размещать объекты, не связанные со сферой курортного лечения и отдыха. Речь в данном случае идет о территориях на восточном и юго-восточном склонах горы Машук, где уже построены и функционируют развлекательный и торговый центры, а также запланировано строительство объектов коммерческого назначения. Таким образом, по факту в настоящее время на границах первой зоны охранных лечебных зон имеют место вырубка лесного массива и вполне легальный бизнес в виде строительства

магазинов, торговых и развлекательных центров. В чем же причины сложившейся ситуации? Таких причин, на наш взгляд, несколько, но наиболее существенной является нарушения администрацией городов-курортов и, в частности – Пятигорска, законодательных актов РФ и постановлений края об утвержденных границах природоохранных зон. Более того, на сегодняшний момент в результате недофинансирования приостановлена масштабная работа Министерства по экологическому обследованию и землеустройству особо охраняемых природных территорий края природы для подачи этих сведений в государственный кадастр недвижимости. Все это в итоге может привести к тому, что упомянутые выше города из курортных превратятся в обычные деловые или торговые центры.

Из вышесказанного вытекают следующие *выводы*:

1. Учитывая специфику и уникальность региона, вопросы экологического характера должны носить приоритетный характер.
2. Все работы, связанные с землепользованием и застройкой городов-курортов, должны в обязательном порядке соответствовать нормативно-правовой базе экологического права.
3. Границы территории Бештаугорского заказника должны учитываться при разработке планов развития, комплексных схем землеустройства и районных планировок.
4. Необходимо закончить работу по инвентаризации и учету земель заказников и памятников природы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Биogeография: учеб. для студ. вузов / Г.М. Абдурахманов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – С. 322–348.
2. Сохраним природное наследие Ставрополя / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Ставроп. края. – Ставрополь: Б.и., 2008. – 31 с.
3. Приложение к постановлению Правительства РФ от 6 июля 1992 г. № 462 «Границы особо охраняемого эколого-курортного региона РФ. – Кавказских Минеральных Вод».
4. Заславский Б.Г., Опарина И.В., Терлеев В.В. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. С. 40–42.
5. Арефьев Н.В., Венкель К.О., Миршель В., Баденко В.Л., Терлеев В.В., Волкова Ю.В. Комплексная оценка агромелиоративных систем для планирования их реконструкции // В сб.: Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата. СПб., АФИ. 2012. С. 468–472.

УДК 332.334

Д.В. Цыбулин, В.В. Гарманов  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

#### ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМ ФОНДОМ НА ГРАНИЦЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Объект исследования* – земельные ресурсы приграничных территорий Санкт-Петербурга и Ленинградской области. *Предмет исследования* – актуальные вопросы управления земельным фондом на примере территорий границ двух соседних регионов Российской Федерации.

*Цель исследования* – актуальный анализ управления земельным фондом России приграничных территорий двух ее регионов (на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области).

*Задачи исследования:*

1. Определить устройство управления земельным фондом РФ;
2. Установить особенности управления земельным фондом каждого из регионов РФ (Ленинградской области и Санкт-Петербурга).

3. Определить основные проблемы управлением территорий на границе Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также сформулировать подход к устранению проблем управления таких территорий.

Управление земельным фондом на территории Российской Федерации включает в себя следующие действия, которые ведутся параллельно как в отношении территории всей страны, так и в отношении земельного фонда на региональном и муниципальном уровнях [1]: распределение и перераспределение земель; землеустройство; кадастр недвижимости; мониторинг земель; контроль использования и охраны земель.

На сегодняшний момент управление земельными ресурсами на стыке регионов имеет целый ряд особенностей:

- различие в составе земельных фондов регионов;
- установление и изменение границ земельных фондов регионов;
- различие в управленческих решениях земельным фондом смежных регионов;
- формирование логистических связей между регионами;
- решение экологических проблем между регионами.

Проанализируем особенности сложившейся структуры земельного фонда агломерации Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В конце 2023 г. был принят новый генеральный план Санкт-Петербурга, устанавливающий формирование новых социальных объектов на территории. На сегодня также ведется работа по обновлению генеральных планов и правил землепользования в отношении поселений в Ленинградской области. Данные два региона заметно отличаются не только по площади, но и по составу земельного фонда. Территория Санкт-Петербурга (140,4 тыс. га) полностью относится к категории земель населенных пунктов и лишь внутри подразделяется на территориальные зоны [2], а территория Ленинградской области включает земли всех семи категорий по целевому назначению (см. табл. 1), которые управляются федеральными органами, что затрудняет качественное местное управление земельным фондом. Наряду с этим, земельный фонд Санкт-Петербурга имеет конечную величину и может быть расширен только за счет земельного фонда Ленинградской области. Изменение границ регионов является сложной процедурой, т.к. при передаче земельного фонда один регион передает (а другой принимает) не только землю как таковую, но территорию, сформированную под задачи предыдущего региона.

Таблица 1 – Состав земель Ленинградской области на 01.01.2021 г.

Наименование категории	Площадь	
	га	%
Земли сельхозназначения	1700,4	20,27%
Земли населенных пунктов	238,9	2,85%
Земли промышленности и иного специального назначения	390	4,65%
Земли особо охраняемых территорий и объектов	42,1	0,50%
Земли лесного фонда	4753,2	56,65%
Земли водного фонда	1081,3	12,89%
Земли запаса	184,9	2,20%
Итого в административных границах	8390,8	100,00%

*Результаты.* Из состава земельных фондов Ленинградской области и Санкт-Петербурга явно прослеживаются заметные различия в управленческих решениях:



1. Оба региона заинтересованы в привлечение трудовых ресурсов, но регионы имеют большой разрыв в финансировании социальной инфраструктуры, а также в типе квалифицированных кадров.

2. Формирование единой экономической агломерации без объединения территориального управления, приводящей к различным демографическим ситуациям.

Формирование единой агломерации регионов привело к неравномерному расселению на территориях регионов. На территории Ленинградской области сформирована группа городов-спутников таким образом, что часть населения таких городов работает в соседнем регионе (Санкт-Петербурге). В результате область не получает равномерного развития собственных территорий и наблюдается лишь сезонный приток и отток населения. Это негативно сказывается на экономике региона и развитии постоянной и устойчивой инфраструктуры в регионе (развитии существующих населенных пунктов в части формировании мест приложения труда и социальном обслуживании постоянного населения) [3, 4].

Еще одной проблемой является установление логистических связей на стыке между двумя регионами. Санкт-Петербург, в отличие от Ленинградской области, является регионом с многослойной логистической связью, в которую входит в том числе метрополитен. В связи с этим на стыке регионов наблюдается напряжение и неудобство в стыковке логистических связей, среди которых:

- стыковка межрегиональных (федеральных) трасс и дорожных объектов местного уровня – проспектов, улиц, что приводит к проблеме земельного управления различных масштабов и возникновению «бутылочных горлышек»;
- необходимость изменения типов земельных участков и пересмотр локальных проектов планировки регионом для формирования единой транспортной структуры, либо передача земельных ресурсов в федеральное управление, что, по сути, является отказом от местного управления участками.

Помимо логистики важным является вопрос управления земельными ресурсами под объекты социальной инфраструктуры. Здесь – налицо перекося между регионами, где город-регион отстраивает и формирует объекты социального обслуживания для привлечения населения (образовательные учреждения, больницы), вместе с тем объекты, оказывающие негативное воздействие на экологическую обстановку, он выводит за пределы региона в область (кладбища, мусорные полигоны, очистные сооружения). Такой подход приводит к еще большему разрыву в качественном положении регионов и привлечении трудовых ресурсов.

Смежной проблемой формирования устойчивой жизнедеятельности человека в регионе является проблема экологии. На стыке регионов Санкт-Петербургской агломерации также остро стоит вопрос экологической ситуации. В регионе-городе экологические условия хуже, чем в области, что обусловлено составом земельного фонда. Вместе с тем проблемы обслуживания жизнедеятельности человека и экологии не имеют четких кадастровых границ, т.к. природные ресурсы (в отличие от объектов недвижимости) не имеют границ. В связи с этим возникает вопрос урегулирования методики решения таких проблем совместно с установлением затрат и возмещений на организацию, выполнение необходимых работ.

На решение проблем управления земельными фондами вблизи границ Санкт-Петербурга и Ленинградской области оказывают влияние следующие условия:

- различие в составе земельных фондов регионов;
- методика установления и изменения границ территории субъектов федерации [5];
- различие в подходах обоснования управленческих решений по использованию земельного фонда смежных регионов;
- формирование логистических связей между регионами;
- решение экологических проблем между регионами.

*Выводы.* Управление приграничным земельным фондом должно обеспечить общие для Санкт-Петербурга и Ленинградской области: а) равномерное распределения земель, минимальный разрыв доходов граждан между регионами; б) снижение нагрузки с приграничных территорий путем уменьшения нагрузки на логистику за счет использования земель под объекты местного значения (формирование земель как самостоятельных районных единиц с полным составом территорий).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием, учебное пособие / Гарманов В.В., Шишов Д.А., Сулин М.А. и др.; под ред. Гарманова В.В., Уваровой Е.Л. – СПб: СПбГАУ, 2021. – 510 с.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.02.2024).
3. Лимонов Л.Э., Батчаев А.Р. Санкт-Петербург и Ленинградская область: связи, проблемы, координация развития агломерации // Пространственная экономика. 2013. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sankt-peterburg-i-leningradskaya-oblast-svyazi-problemy-koordinatsiya-razvitiya-aglomeratsii> (дата обращения: 02.02.2024).
4. Исаченко Т.Е., Исаченко Г.А., Озерова С.Д. Динамика пространственной организации рекреации в зоне влияния Санкт-Петербурга во втором десятилетии XXI века // Вестник СПбГУ. Науки о Земле, 2021. Т.66(4). С. 759–780. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.407>
5. Приказ Росреестра от 23.10.2020 N П/0393. Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 N 60938)

УДК 332.3

В.Л. Богданов, П.Н. Головин  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

### СИСТЕМА КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ

*Актуальность.* Разработка системы критериев оценки эффективности агроландшафтов является актуальной темой для исследований. В условиях изменяющейся климатической и экологической ситуации, а также растущих потребностей в продовольственной безопасности, необходимо создание эффективных механизмов для оценки использования агроландшафтов. Разработка системы критериев позволит более точно и комплексно анализировать различные аспекты использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве [1, 2]. Кроме того, с учетом угрозы деградации почв, утраты биоразнообразия, а также влияния антропогенной деятельности на экологическое равновесие, разработка системы критериев позволит учитывать эти факторы при оценке эффективности использования агроландшафтов и выявлять потенциальные уязвимые зоны. Также, в условиях глобальных изменений, связанных с урбанизацией, изменением землепользования и расширением сельскохозяйственных угодий, важно иметь систему критериев, которая позволит принимать во внимание как социально-экономические, так и экологические аспекты использования агроландшафтов. В итоге разработка системы критериев для оценки эффективности использования агроландшафтов также является важным инструментом для оценки устойчивости сельскохозяйственного развития и определения потенциала для улучшения управления земельными ресурсами с целью повышения продуктивности и сохранения окружающей среды [3]. Исследования в данной области указывают на важность учета различных факторов, таких как биологическое разнообразие, устойчивость агроэкосистем, потенциальные риски деградации почв и другие.

*Цель исследования:* разработать систему критериев для классификации агроландшафтов, включающую согласованную систему природных, экологических и социально-экономических показателей.

При использовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия происходит выделение агроэкологических групп, учитывающих природные и экологические условия. Это позволяет адаптировать сельскохозяйственные практики к конкретным природным особенностям определенных территорий, обеспечивая устойчивость агроландшафта и сохранение ресурсов. Целью адаптивно-ландшафтной системы земледелия является не только обеспечение производства определенных сельскохозяйственных культур, но и создание экологической устойчивости агроландшафта.

Именно такой комплексный подход, учитывающий экологические, природные, экономические и социальные аспекты [4], является ключевым компонентом для разработки системы критериев оценки эффективности использования агроландшафтов. Понимание взаимосвязей между сельскохозяйственной деятельностью и экологическими процессами позволяет разрабатывать целенаправленные стратегии по улучшению управления земельными ресурсами и сельскохозяйственным производством.

Исходя из вышесказанного, должны быть выделены участки с однородной почвенной структурой, имеющие схожие геологические, литологические, гидрогеологические или микроклиматические условия. Например, В.В. Вольнов выделяет среди ведущих компонентов в определении устойчивости агроландшафта рельеф, поскольку наиболее опасными являются эрозия и засуха, а также связанная с ними общая деградация почв [5]. В соответствии с агроклиматической типизацией земель выделяются территории близкие по условиям возделывания сельскохозяйственных культур. Применительно к типам земель разрабатывают севообороты, мелиоративные и противоэрозионные мероприятия, формируют технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

*Результаты.* При учете критериев эффективности использования земель в агроландшафтах предлагается придерживаться алгоритма, представленного на рис. 1. При разработке системы критериев для оценки использования и устойчивости агроландшафтов стоит провести учет природных факторов [6]. На первом этапе, в соответствии с предложенными критериями, осуществляется классификация агроландшафтов по типу хозяйственной деятельности: полевой, садовый, лугопастбищный. При учете природных критериев рассматриваются геоморфологические и почвенные характеристики территории. С учетом однородности рельефа и почв в каждом подклассе происходит выделение видов агроландшафтов, которые имеют название, исходя из форм рельефа и типов почв.

Продолжая градацию территории, следующим шагом является их классификация на основе состава почв. Для получения информации о почвенных характеристиках территории могут быть использованы различные источники данных: почвенные карты, схемы землеустройства [7, 8], материалы туров агрохимического обследования, данные дистанционного зондирования Земли.

Таблица 1 – Оценка экологического состояния по видам негативных процессов

	Степень развития негативного процесса			
	отсутствует	слабая	средняя	сильная
Эрозия	–	V	–	–
Заболачивание	–	–	V	–
Закисление	–	–	–	V
Закустаренность	V	–	–	–
Баллы	0	1–2	3–4	5

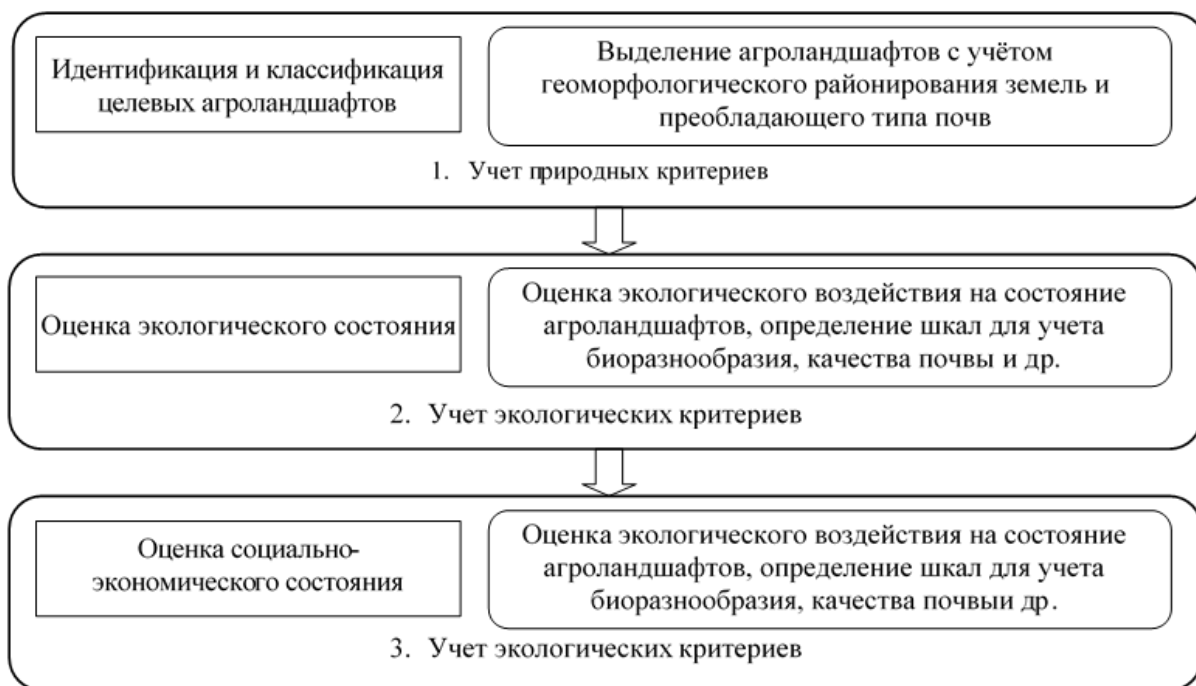


Рис. 1. Система критериев для оценки эффективности использования агроландшафтов

На втором этапе формирования системы критериев для оценки использования агроландшафтов проводится оценка по экологическим критериям. В процессе использования функции агроландшафта сопоставимы с функциями сельскохозяйственных угодий [9]. Для проведения экологической оценки следует выделить наиболее значимые негативные процессы, такие как засоление, заболачивание, эрозия, подтопление и другие. Каждому из этих процессов присваивается определенный балл от 0 до 5, отражающий степень их проявления, где 0 означает отсутствие проявления, а 5 – сильное проявление. Таким образом, оценку по каждому негативному процессу можно представить в виде таблицы, как показано в табл. 1. Результатом проведенного анализа является суммарный показатель, характеризующий текущее экологическое состояние территории агроландшафтов; в последующем данный показатель используется при оценке общего состояния агроландшафта. Помимо этого, оценивается качество почв – кислотности, содержания подвижных форм фосфора в почвах, обменного калия, гумуса. В зависимости от величины совокупного показателя по экологическому состоянию почв определяется возможность использования земель в сельском хозяйстве: 1) интенсивное использование земель в сельском хозяйстве; 2) ограниченное использование земель в сельском хозяйстве; 3) выполнение частичной или полной консервации земель с возможным выведением земель из сельскохозяйственного оборота.

Учет социально-экономических критериев заключается в группировке земель по средней величине урожайности и величине балла бонитета, в определении шкал для учета качества производства, доходности труда, и других экономических показателей на конкретной территории. На основании вычисленных баллов бонитета почв определяется класс бонитета. Для этого 100-балльная шкала делится на 10 классов с интервалом в 10 баллов в каждом классе. Лучшие почвы с баллами 91–100 будут отнесены к 1 классу, 81–90 – ко 2 классу и т.д.

*Выводы.* При помощи оценка эффективности агроландшафтов на основе предложенной системы критериев может способствовать принятию оптимальных решений по использованию земель в агроландшафтах, что является важным для обеспечения устойчивого земледелия [10]. Сюда включается выбор оптимальных культур, методов обработки почвы, учет водных и биологических ресурсов. Принятие правильных решений по использованию земли с учетом экономической эффективности способствует повышению доходности и

устойчивости сельскохозяйственных предприятий в агроландшафтах, а научный подход к использованию земель снижает их подверженность развитию негативных процессов. Принимая во внимание социокультурные аспекты и потребности местного населения, можно разрабатывать стратегии использования земли, которые способствуют развитию сельских территорий и улучшению благосостояния населения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сулин М.А., Степанова Е.А., Уварова Е.Л. Внутрихозяйственное землеустройство. Практикум. СПб.: Проспект Науки, 2018. 102 с.
2. Павлова В.А. Концептуальные основы территориального природопользования. Инженерные и технологические исследования для устойчивого развития. Труды IX Международного Симпозиума молодых ученых, аспирантов и студентов. Москва: МГУИЭ, 2009. С. 71–74.
3. Уварова Е.Л. Методические проблемы внутрихозяйственного землеустройства: необходимость соответствия современным требованиям сельскохозяйственного производства // Вестник факультета землеустройства СПбГАУ. СПб, 2009. С. 86–89.
4. Шишов Д.А., Уварова Е.Л., Терлеев В.В. Актуальность и перспективы государственной политики РФ в сфере оборота объектов недвижимости. Неделя науки 2017. Материалы научного форума с международным участием. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2017. С. 231–234.
5. Вольнов В.В., Давыдов А.С. Ландшафтоведение и агроландшафтные экосистемы. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. 210 с.
6. Уварова, Е. Л. Инвентаризация земель как основа мониторинга земель / Е. Л. Уварова, В. В. Терлеев // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : Сборник научных трудов. Том Часть II. – СПб : СПбГАУ, 2018. – С. 252–257.
7. Уварова Е.Л. Территориальное планирование как важный элемент устойчивого развития // В сб.: Политехническая неделя в Санкт-Петербурге. Материалы науч. форума с международ. участием. СПб.: СПбПУ, 2016. С. 348–350.
8. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием / В. В. Гарманов, Д. А. Шишов, М. А. Сулин [и др.]. Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2021. 508 с.
9. Павлова В.А., Уварова Е.Л. Фермерство как генезис капиталистических отношений в России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 40. С. 180–186.
10. Павлова В.А., Уварова Е.Л. Применение информационно-коммуникационных технологий в современной российской кадастровой системе // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 2. С. 57–63.

УДК 332.33

В.А. Павлова, В.С. Чебулаев, М.В. Саранчук  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

### ПОЛЕВОЕ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ НА ПРЕДМЕТ УСТАНОВЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАРАСТАНИЯ УЧАСТКОВ БОРЩЕВИКОМ СОСНОВСКОГО И ДРЕВЕСНО-КУСТАРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛОСОВСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Актуальность* проведения исследований, связанных с выявлением земель сельскохозяйственного назначения, зарастающих борщевиком Сосновского (далее БС) и древесно-кустарниковой растительностью (далее ДКР), обусловлена тем, что в настоящее время происходит выбытие таких земель из хозяйственного оборота, в том числе – в результате развития на них процессов деградации [1, 2]. Стремительное распространение этого растения нарушило экологическое равновесие и стало серьезной проблемой для многих регионов нашей страны. Способность БС к неконтролируемому распространению и, как следствие, захвату территорий сельскохозяйственного назначения, а также опасность для людей послужили признанием данного вида растений экологически опасным. Важной задачей является выявление зон произрастания БС с целью их уничтожения, а также прогноза

распространения [3]. Вследствие высокой пространственной неоднородности и временной изменчивости внешнего облика растений БС методы контроля зон произрастания БС недостаточно проработаны к настоящему моменту.

Проблема выявления земель сельскохозяйственного назначения, зарастающих ДКР и БС, активно обсуждается и развивается не только в научном сообществе, но и очевидна в настоящее время на государственном уровне. Так, на территории Ленинградской области по заданию комитета по АПК Ленинградской области началась работа по выявлению сельскохозяйственных земель, зарастающих ДКР и БС с целью сравнения официальных статистических данных, содержащих сведения о зарастании ДКР и БС с фактическим их расположением и масштабами зарастания. Распространенные в настоящее время методы визуального контроля, применяемые в рамках полевых исследований, трудны с точки зрения формализации, опасны для человека, имеют высокую стоимость, малую исследуемую площадь и носят субъективный характер. В свою очередь, данные дистанционного зондирования (ДЗЗ) являются объективными, охватывают значительные площади, но имеют низкую стоимость [4].

В настоящее время предлагаются различные пути выявления зон зарастания земель сельскохозяйственного назначения ДКР и БС, например – по спектральным характеристикам отраженных волн оптического диапазона, содержащихся в спутниковых данных. Однако, на наш взгляд, необходим комплексный подход, связанный не только с использованием ДЗЗ территории, но и включающий в себя проведение полевых землеустроительных обследований, так космические снимки обновляются несвоевременно, а скорость зарастания БС и ДКР в настоящее время достаточно велика. Одновременное использование данных космических снимков в различные периоды (зима, лето) в динамике за несколько лет с наложением на эти снимки актуальных сведений, полученных в результате полевых обследований, позволят своевременно определить скорость зарастания сельскохозяйственных земель ДКР и БС и принимать оперативные меры по борьбе с данными негативными процессами с целью сохранения таких земель с возможностью их дальнейшего использования в хозяйственной деятельности [5, 6].

*Цель исследования* – установление степени зарастания земельных участков Борщевиком Сосновского (лат. *Heracleum sosnowskyi*) и древесно-кустарниковой растительностью.

*Задачи исследования:*

- 1) фотосъемка обследуемого участка;
- 2) составление актов по результатам полевого обследования;
- 3) сбор и анализ данных дистанционного зондирования территории за 5 лет в периоды зима-лето;
- 4) сопоставление данных полевого обследования и ДЗЗ;
- 5) формирование тематических карт, содержащих сведения о степени зарастания земель сельскохозяйственного назначения БС и ДКР [7, 8];
- 6) разработка комплекса мероприятий по результатам обследования территории.

*Результаты.* Составлен календарный план реализации исследования:

- 01.06.2023-01.09.2023 – проведение полевых обследований;
- 01.09.2023-01.11.2023 – составление актов по результатам полевых обследований;
- 01.12.2023-01.03.2024 – сбор и обработка данных ДЗЗ;
- 01.04.2024-01.07.2024 – сопоставление данных полевых обследований и ДЗЗ;
- 01.08.2024-01.10.2024 – разработка тематических карт;
- 01.11.2024 -01.02.2025 – разработка комплекса мероприятий.

Выявлена необходимость проведения полевых исследований ввиду наличия ошибок при спутниковом распознавании. Так, на одном из участков, алгоритмом было выявлено существенное поражение БС; тем не менее, при проведении полевых исследований обнаружено полное отсутствие распространения БС на участке (БС обнаружен только на территории между дорогой и участком).

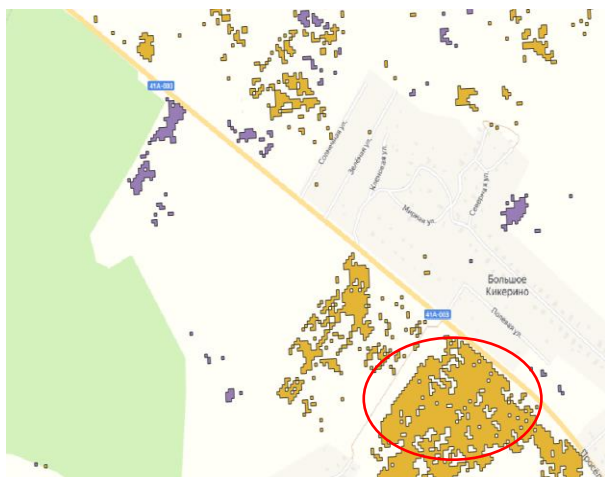


Рис. 1. Сравнение данных алгоритма с результатами полевого исследования

Проведено полевое землеустроительное обследование на предмет степени зарастания участков Волосовского района Ленинградской области борщевиком Сосновского и древесно-кустарной растительностью с фотофиксацией и сопоставлены данные полевого обследования и ДЗЗ. На данном этапе потребовалось составить акты по результатам обследований, чтобы зафиксировать ситуацию территории на момент обследования. В них для удобства указаны: кадастровый номер, адрес, категорию земель, площадь каждого обследуемого участка.

В результате полевых землеустроительных работ обследовано 830 земельных участков разных категорий земель, из них: 30 земельных участков без зарастания БС и ДКР; 150 земельных участков с зарастанием ДКР; 650 земельных участков с зарастанием БС; 438 земельных участков заросли более БС, чем на 50%; 212 земельных участков заросли БС менее, чем на 50%; 86 земельных участков заросли ДКР более, чем на 50%; 64 земельных участков заросли ДКР менее, чем на 50%.

По результатам обследований составлено 83 акта, в каждом из которых содержится информация по 10 земельным участкам. Ликвидировать борщевик можно тремя способами: химическим (распыление ядохимикатов, которое должно проходить двукратно); ручным (скашивание или вырубка кустарника); смешанным.

*Выводы.* Полученные результаты исследования могут быть применены органами исполнительной власти для выявления, прогноза и своевременного принятия оперативных мер по сохранению и вовлечению в хозяйственный оборот земель сельскохозяйственного назначения [9, 10]. Результаты исследования могут быть внедрены в практику оперативного мониторинга природных сред, осуществляемого в настоящее время территориальными управлениями по сельскому хозяйству, а также рядом академических и отраслевых организаций и институтов, выполняющих исследования в области экологии, природопользования и сельского хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Уварова Е.Л., Терлеев В.В. Инвентаризация земель как основа мониторинга земель. Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : Сборник научных трудов. СПб.: СПбГАУ, 2018. С. 252–257.
2. Баденко В.Л., Гарманов В.В., Богданов В.Л., Терлеев В.В. Современные технологии мониторинга нарушенных земель в политехническом образовании по специализации «Маркшейдерское дело». Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2015. С. 146–150.
3. Уварова Е.Л. Основные направления развития планирования и использования земельных ресурсов. Инновации – основа развития агропромышленного комплекса // Материалы для обсуждения Международного агропромышленного конгресса. СПб.: СПбГАУ, 2010. С. 107–108.

4. Белоусов А.О., Уварова Е.Л. Геоинформационные технологии в землеустройстве. Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. СПб.: СПбГАУ, 2021. С. 124–127.
5. Уварова Е.Л. Сущность и современное содержание рационального и эффективного использования земельных ресурсов // Вестник факультета землеустройства СПбГАУ, 2016. № 2.
6. Белоусов А.О., Баранова Д.В. Понятие и содержание рационального использования земель сельскохозяйственного назначения // В сб.: Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. Материалы междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАУ, 2022. С. 112–115.
7. Белоусов А.О., Богданов В.Л. Понятие и содержание интегральной оценки рационального использования сельскохозяйственных земель. Аграрная наука – сельскому хозяйству // В сб. материалов XVI Международной НПК. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. С. 307–308.
8. Белоусов А.О., Богданов В.Л. Метод расчета интегральных показателей качества и рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в QGIS // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27, № 5. С. 160–172.
9. Баранова Д.В., Уварова Е.Л. Зарубежный опыт кадастровой оценки объектов. Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства. Материалы I международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. С. 33–37.
10. Уварова Е.Л., Ласина Д.А. Категории земель в Российской Федерации: проблемы и перспективы // Вестник Студенческого научного общества. 2013. № 1. С. 286–289.

УДК 332.3:332.14

Е.Л. Уварова, И.А. Чернова  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА РЕГИОНА МЕТОДОМ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

*Актуальность.* Проблема прогнозирования использования земельных ресурсов отдельного субъекта РФ во всех хозяйственных отраслях в настоящее время стоит весьма остро, так как выявленные перспективы во многом определяют цель и задачи земельной политики в регионе. Прогнозирование должно опираться на объективную оценку земельных ресурсов, анализ сложившихся тенденций и их изменения [1–3].

*Цель исследования* – используя метод экстраполяции, разработать экономический прогноз использования земельных ресурсов.

В качестве объекта был взят земельный фонд Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Для составления прогноза использования земельных ресурсов определенного региона необходимо детально изучить сложившуюся динамику распределения площадей по категориям за предыдущие года. На основе данных из Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель была составлена структура земельного фонда ХМАО за последние 10 лет, которая представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что большую часть земельного фонда составляет лесной фонд, занимающий 90,99% территории, вследствие чего одной из основных отраслей промышленности является лесопромышленность. Количество земель сельскохозяйственного назначения колеблется в пределах 611–614 тыс. га и с каждым годом постепенно уменьшается [4]. Это связано с региональной особенностью округа – заболоченностью территории и большим количеством рек и озер, а также – со снижением инвестиций в сельское хозяйство [5]. На 2021 г. количество земель сельскохозяйственного значения составило 1,14% от общей площади. Следует отметить динамику изменения земель промышленности. В 2013 г. произошел скачок: площадь земель промышленности возросла на 157,7 тыс. га за счет земель запаса в связи с разработкой месторождений нефти и газа [6]. В период с 2013 г. по 2021 г.



наблюдалось ежегодное незначительное увеличение площади. Площадь земель запаса на территории округа занимает 3,62%. С 2012 г. по 2021 г. остальные категории претерпели незначительные изменения. Площадь земель водного фонда осталась неизменной и составила 0,94%. Земли особо охраняемых территорий увеличились на 0,3 тыс. га и составили 1,64% от общей площади земельного фонда. Земли населенных пунктов также претерпели незначительные изменения и уменьшились на 0,3 тыс. га. От части это взаимосвязано с упразднением поселков, экономико-географическое положение которых было невыгодно. Данные земли занимают 0,95% от общей площади земельного фонда.

Таблица 1 – Структура земельного фонда ХМАО

Категория земель	Года									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Земли с.-х. назначения	613,7	613,9	614,2	614,2	611	610,8	609,9	611	611	611,9
Земли населенных пунктов	507,9	507,9	507,9	507,9	507,9	507,9	507,9	507,9	507,6	507,6
Земли промышленности и иного спец. назначения	150,3	152,7	310,4	312,8	321,2	325,3	328,7	326,5	329	331,2
Земли особо охраняемых территорий и объектов	874,5	874,5	874,5	874,5	874,8	874,8	874,8	874,8	874,8	874,8
Земли лесного фонда	48662,6	48662,5	48662,5	48662,3	48661,8	48661,8	48661,3	48661,1	48661,0	48661,1
Земли водного фонда	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8	501,8
Земли запаса	2169,3	2166,8	2008,8	2006,6	2001,6	1997,7	1995,7	1997	1994,9	1991,7
Итого	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1	53480,1

*Результаты.* Используя выше представленные данные, составлен прогноз использования земельного фонда в ХМАО с помощью метода экстраполяции. В основе метода лежит предположение, что факторы, которые влияют на развитие объекта, являются неизменными, а их суть состоит в том, что закономерности развития объекта в прошлом могут быть распространены на его будущее. При этом стоит учитывать, что наиболее точные данные могут быть получены, если срок прогноза не превышает 1/3 базисного периода. Однако, это условие не является жестким. Срок прогнозного периода может быть больше с учетом условия – прогнозный период не должен превышать базисный период [7].

Для того, чтобы спрогнозировать распределение площади земель по категориям, в первую очередь, необходимо проанализировать зависимость изменения площади каждой категории от времени. В силу того, что изменения площадей земель населенных пунктов, водного фонда, сельскохозяйственного назначения, а также особо охраняемых территорий и объектов носят стохастический характер [8], т.е. являются случайными и непредсказуемыми, данные категории были исключены из прогноза.

Рассмотрим прогнозирование использования земель методом экстраполяции на примере земель промышленности и иного специального назначения. При расчетах использованы лишь те ряды данных, изменение которых носило естественный характер, вследствие чего за базисный период был выбран промежуток с 2014 по 2021 г. Допустим, что зависимость изменения площади земель промышленности и иного специального назначения от времени является линейной. Следовательно, ее можно описать функцией (1):

$$y = kx_1 + a, \quad (1)$$

где  $y$  – площадь категории земель, тыс. га;  $k$  – коэффициент;  $x_1$  – год;  $a$  – независимая переменная.

Таким образом, зависимость изменения площади земель промышленности и иного специального назначения от времени будет описываться формулой (2):

$$y = x_1 \times 2,92738 - 5582,9. \quad (2)$$

Для того, чтобы выяснить, насколько адекватной является полученная модель, рассчитывается коэффициент детерминации. Коэффициент детерминации является

достаточно близким к единице: следовательно, такую модель можно использовать для прогноза, а именно – изменение временной составляющей на 86% объясняет изменение площадных характеристик категории. Для выполнения расчетов использованы возможности программы Excel (применен пакет регрессионного анализа, проведен подбор функциональной зависимости): результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Прогноз использования земельного фонда в ХМАО

Категория	Уравнение тренда	Прогнозная площадь на 2026 г., тыс. га	Ошибка метода	Интервальная оценка
Земли сельскохозяйственного назначения	Тренда нет	611,9	–	–
Земли населенных пунктов	Тренда нет	507,6	–	–
Земли промышленности и иного специального назначения	$y = 5906,9 \ln x - 44626$	342,23	0,24	$\pm 0,68$
Земли особо охраняемых территорий	Тренда нет	874,8	–	–
Земли лесного фонда	$y = 415,5 \ln x + 51824$	48660,87	0,04	$\pm 0,1$
Земли водного фонда	Тренда нет	501,8	–	–
Земли запаса	$y = -4660 \ln x + 37460$	1984,21	0,24	$\pm 0,67$

Из табл. 2 видно, что тенденции, намеченные при анализе существующей структуры земельного фонда, сохранятся и будут прогрессировать, однако, в действительности они могут измениться, поэтому при применении в прогнозе метода экстраполяции полученные данные следует рассматривать только как вероятностные. Из анализа полученных значений видно, что наибольшую достоверность данных можно получить с использованием логарифмической функциональной зависимости. Поскольку использованный динамический ряд небольшой, а изменения, выявленные в нем, слабо выражены, постольку интервальная оценка, рассчитанная с помощью коэффициента Стьюдента, является значительной.

*Вывод.* Необходимость составления прогнозов перераспределения земель по категориям обуславливается тем, что они позволяют выявить направления использования и охраны земель на перспективу, а также своевременно внести корректировки в части выработки управленческих решений по обустройству и инженерной защите территорий [9, 10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Том Часть 2. СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с.
2. Павлова В.А. Организационные формы реализации учетной функции в системе управления земельными ресурсами // Пятая международная научная конференция Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства, Санкт-Петербург, 08–09 октября 2009 года. СПб.: СПбГАУ, 2010. С. 467–469.
3. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты. Доктору экономических наук, профессору Д.А. Шишову посвящается / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Том Часть 1. СПб.: СПбГАУ, 2018. 247 с.
4. Сулин М.А., Быкова Е.Н., Павлова В.А. Кадастр недвижимости и мониторинг земель. Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 368 с.
5. Павлова В.А. Оценка кадастровой стоимости сельскохозяйственных земель в системе управления земельными ресурсами АПК. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. Москва, 2023. 325 с.
6. Заварин Б.В. Аслаханов А.Н., Терлеев В.В. Оценка экономической целесообразности использования рекультивированных земель // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. С. 186–188.
7. EPR of radiation-induced defects in fluoroaluminate glasses / L.D. Bogomolova, N.A. Krasil'nikova, O.A. Trul [et al.]. Journal of Non-Crystalline Solids. 1994. Vol. 175, No. 1. P. 84–90.

8. Арефьев Н.В., Гарманов В.В., Осипов А.Г., Трушников В.Е. Ландшафтно-экологическое районирование и мониторинг земель Ленинградской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 11. С. 303–311.
9. Павлова В.А. Формирование стоимости земельного участка в системе управления земельными ресурсами // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2008. № 8(44). С. 32–35.
10. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225–231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).

УДК 349.41

Е.Л. Уварова, М.О. Штыкова  
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАРОСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

*Актуальность.* Выбытие сельскохозяйственных угодий из оборота способствует их активному зарастанию. Земли, способные воспроизвести корма для сельскохозяйственных животных и различную продукцию растениеводства, утрачивают свои производительные свойства в сельском хозяйстве [1, 2]. Особо остро данная проблема стоит в районах рискованного земледелия, где низкая экономическая эффективность ведения сельского хозяйства [3, 4] привела к деградации значительного количества сельскохозяйственных угодий. Более 40 % сельскохозяйственных угодий по данным всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. заброшены. Современные ученые и органы государственной власти смотрят на поиск решения такой проблемы двояко: с одной стороны, возникает необходимость вернуть плодородные земли в сельскохозяйственное производство, с другой стороны, из-за низкой рентабельности таких земель появляется потребность в исследовании иных способов использования заросших угодий, который будет способствовать экономическому росту как отдельно взятых хозяйствующих субъектов, так и целых регионов, где такая проблема носит повсеместный характер. К сожалению, ответы на вопрос о балансе двух данных подходов до сих пор не найдены, так как в целом нет решений по отдельным их составляющим. Необходимо исследовать текущий уровень регулирования использования заросших угодий в правовом аспекте.

*Цель работы:* произвести ретроспективный анализ изменений нормативно-правовой базы использования заросших сельскохозяйственных угодий для выявления направлений совершенствования земельной политики в области обеспечения рационального использования земельных ресурсов.

*Результаты.* В 2018 г. в Лесном кодексе РФ появилась статья 123, в соответствии с которой на землях сельскохозяйственного назначения могут располагаться леса, подлежащие освоению. В 2019 г. Минприроды РФ выступило с предложением изымать такие земли и переводить в лесной фонд, но Минэкономразвития РФ сочло, что от этого плана будет больше вреда, чем пользы. В 2020 г. вышло Постановление Правительства РФ от 21.09.2020 № 1509, где Правительство утвердило особенности использования, охраны, защиты воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения [5]. До этого собственников заросших участков могли оштрафовать на сумму до 700 тыс. руб., либо лишить права собственности, теперь же разрешалось вести хозяйствование. Появилось понятие «лесной фермер» – человек, который выращивает лес на сельскохозяйственных угодьях. Это решение вызвало большой интерес: многие землевладельцы хотели стать лесными фермерами, а некоторые аграрии даже начали покупать заросшие участки. В первой редакции Постановления № 1509 от 21 сентября 2020 г., собственники должны были просто уведомить специальные органы о том, что земли будут рационально использоваться [6] для ведения

лесохозяйственной деятельности, уровень административной и регуляторной нагрузки на собственников был минимальный. Так, у правообладателя появлялась возможность использовать лес во всех аспектах: от создания лесных плантаций до заготовки и переработки древесины. Появилось противоречие с Земельным кодексом РФ, где в статье 78, которая регулирует использование сельскохозяйственных земель, не говорится о лесозаготовках. Хотя и по Постановлению можно было добывать древесину, ответственность за последующие действия это не отменяло. Все правила в отношении пожарной, санитарной безопасности, правил заготовки затрагивали собственников лесов на сельскохозяйственных угодьях. Однако в феврале 2021 г. публикуются первые правки Постановления № 1509. Появились сложности в оформлении документов, из-за которых был практически полный запрет лесного фермерства в России. Возникло множество оснований для отказа на ведение лесного хозяйства, заявления могли отклонить даже из-за несоблюдения правил грамматики. Если было принято отрицательное решение, то собственнику направлялось уведомление, где его обязывали убирать всю древесно-кустарниковую растительность и расчищать земельный участок. Важной правкой стал запрет на создание лесных плантаций и их эксплуатацию (п. 4 Постановления).

В 2022 г. было опубликовано Постановление Правительства РФ от 08.06.2022 г. № 1043, которое вносило изменение в действующие Постановление № 1509. Ужесточалась процедура, которую собственники обязаны выполнить для получения разрешения на лесоводство. Теперь участками, заросшими лесом, считались те, на которых площадь леса составляла более 75%, при этом сами участки должны быть не меньше 0,5 га, высота деревьев от 5 м, сомкнутость крон от 0,8 до 1 м. Если участок не подходил к данным условиям, то необходимо было привести его к надлежащему для сельскохозяйственного использования виду [7, 8], то есть полностью уничтожить несанкционированную древесно-кустарниковую растительность, причем вырубка и продажа древесины не допускалась (чаще всего применяли метод выжигания). Если участок подходил к вышеописанным условиям, то необходимо было составить проект освоения лесов и подавать лесную декларацию в специальные органы, которым может выступать МФЦ. При этом заросшие участки нельзя было использовать для создания и эксплуатации лесных плантаций; при нарушении правил ведения лесохозяйственной деятельности право на ведение такой деятельности изымалось.

В продолжение ужесточения условий использования сельскохозяйственных угодий [9] в лесных целях вышел Федеральный закон от 05.12.2022 г. № 507, в котором упрощался механизм изъятия земельных участков при наличии признаков неиспользования по целевому назначению. Теперь вместо трех лет подтверждения неиспользования хватало одного года с момента приобретения, а дело рассматривается в течение месяца. Тем самым ужесточался мониторинг использованием земель.

Таким образом, в России началось формирование правовой основы развития лесоводства на землях сельскохозяйственного назначения. В настоящее время Постановление № 1509 требует корректировок по смягчению требований и расширению возможностей использования, заросших сельскохозяйственных угодий.

В 2022 г. Рослесинфорг начал оцифровывать древесно-кустарниковую растительность в 27 регионах и выявил 13,2 млн га полей, заросших лесом. С 2023 г. действует программа, целью которой является возвращение этих земель в оборот до 2030 г.

В настоящее время разрешение на использование лесов на землях сельскохозяйственного назначения можно получить через Рослесинфорг с помощью подачи заявления. В результате одобрения заявки собственник получит комплект разрешительных документов на использование, охрану, защиту и воспроизводство лесных насаждений, а лес приобретает законный статус.

Использование лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения, предусматривается п. 4 действующего Постановления №1509. Например, если собственник

хочет заниматься заготовкой древесины на своем участке, то он выбирает лесосеки, которые будут вырубаться, отводит их в натуре и подает декларацию. Необходимо будет подавать отчетную информацию в уполномоченные органы с определенной периодичностью.

*Выводы.* В результате анализа изменений законодательства в сфере использования зарастающих и заросших сельскохозяйственных угодий сделаны следующие выводы:

- с 2020 г. предпринимаются попытки узаконивания ведения лесного хозяйства на заросших сельскохозяйственных землях;
- первая редакция Постановления Правительства РФ № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения, давала правообладателям сельскохозяйственных земель возможность лесного хозяйствования практически без особых ограничений, что привело к необоснованному выводу сельскохозяйственных угодий из аграрного оборота;
- последующие ограничительные меры оказались настолько избыточными, что в настоящее время законно вести лесное хозяйство на землях сельскохозяйственного назначения оказалось практически невозможным.

Процесс совершенствования законодательства в области регулирования использования лесов на землях сельскохозяйственного назначения не окончен и требует доработки в части создания таких условий, при которых не будет допускаться зарастание продуктивных сельскохозяйственных угодий, а менее ценные, удаленные и малопригодные для ведения интенсивного сельского хозяйства земли можно будет использовать в лесном хозяйстве. Оценки пригодности угодий для той или иной деятельности должна основываться на проведении работ по сплошной инвентаризации сельскохозяйственных угодий [10], что обеспечит единство подхода и снизит нагрузку по сбору и подготовке необходимых документов правообладателями сельскохозяйственных земель.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Белоусов А.О., Баранова Д.В. Понятие и содержание рационального использования земель сельскохозяйственного назначения // В сб.: Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: Международ. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАУ, 2022. С. 112–115.
2. Заварин Б.В. Аслаханов А.Н., Терлеев В.В. Оценка экономической целесообразности использования рекультивированных земель // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. С. 186–188.
3. Павлова В.А. Институциональный подход к регулированию оценочной деятельности // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2014. № 6(114). С. 57–63.
4. Павлова В.А., Баранова Д.В. Результаты земельно-оценочных работ в Северо-Западном экономическом районе // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2023. № 2. С. 102–105.
5. Гарманов В.В., Богданов В.Л. Информационное обеспечение платности землепользования сельскохозяйственного назначения // Науки о Земле. 2015. № 1. С. 63–71.
6. Павлова В.А. Санкции, применяемые к нарушителям природоохранного законодательства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2007. № 3. С. 51–52.
7. Максимова С.А., Павлова В.А., Терлеев В.В. Современные подходы к комплексной инвентаризации объектов недвижимости // В сб. Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Санкт-Петербург – Пушкин: СПбГАУ, 2019. С. 51–55.
8. Белоусов А.О., Богданов В.Л. Понятие и содержание интегральной оценки рационального использования сельскохозяйственных земель // В сб. Аграрная наука – сельскому хозяйству. материалы XVI Международ. науч.-практич. конф. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2021. С. 307–308.
9. Сулин М.А., Павлова В.А. Общая парадигма оценки объектов недвижимости // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2012. № 27. С. 242–245.
10. Научные основы землеустройства / В. П. Троицкий, С. Н. Волков, М. А. Гендельман [и др.]. Акмола : Акмолинский сельскохозяйственный институт, 1995. 114 с.

## КОНЦЕПЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ И ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВЛАГИ

*Введение.* Общим недостатком применяемых фрактальных моделей функций водоудерживающей способности и влагопроводности почв и грунтов является отсутствие физического обоснованного и относительно простого способа определения фрактальной размерности капиллярно-пористой среды [1].

*Цель исследования* – разработка физически обоснованного метода определения фрактальной размерности капиллярно-пористой среды, такой как почва или грунт.

*Объекты и методы.* Концепция экспериментального метода определения фрактальной размерности основана на эффекте Харста. Обычно долговременные гидрофизические процессы с нулевым средним имеют дисперсию  $Sx_t$ , пропорциональную рассматриваемому периоду времени  $T$  ( $Sx_t \approx T$ ). При строгой математической записи:  $Sx_t = (\sqrt{T})^2$ ;  $T \geq 0$  или  $Sx_t = T^{2H}$ , если  $T \geq 0$ ;  $0 \leq H \leq 1$ .

Суть эффекта Харста заключается в том, что дисперсия зависимости объемного расхода влаги от времени в исследованиях фильтрации воды через почвенный образец не равна степени 0,5 показателя  $T$ , а составляет некоторую величину, большую, или иногда меньшую, чем квадратный корень  $T$  (и обозначается  $H$  – показатель Харста) [2]. Колебания объемного расхода воды в процессе фильтрации влаги через почвенный образец является многомасштабным или фрактальным физическим процессом, полностью обусловленным фрактальным строением порового пространства почвы (грунта). Это позволяет разработать метод непосредственного определения фрактальной размерности  $D$  порового пространства почвы (грунта), а не применять геометрические вычисления  $D$  на основе данных сухого рассева и определений объема твердой фазы капиллярно-пористой среды.

*Рабочая гипотеза:* фильтрация воды (сток, объемный расход воды) через образец почвы является случайным фрактальным процессом, зависимым от фрактального строения порового пространства почвы (грунта).

*Результаты.* При исследовании фильтрации влаги через капиллярно-пористую среду (почва и грунт) по ГОСТ 25584-2016 построены графики зависимости объемного расхода воды  $Q$  от времени – временные ряды. Исследования показали, что при фильтрации воды через почву и грунт возможны два случая (представлены на рис. 1 и 2). В первом случае (см. рис. 1) поровое пространство организовано не фрактально: эффекта Харста или задержки воды при фильтрации не наблюдается. Кривая или временной ряд зависимости объемного расхода влаги от времени имеет гладкий характер. Во втором случае (см. рис. 2) эффект Харста наблюдается. И во втором случае можно осуществить расчет фрактальной размерности порового пространства методом линейных систем теории фракталов [3–5]. Такие расчеты были произведены для образцов почв, в которых наблюдался эффект Харста при фильтрации влаги.

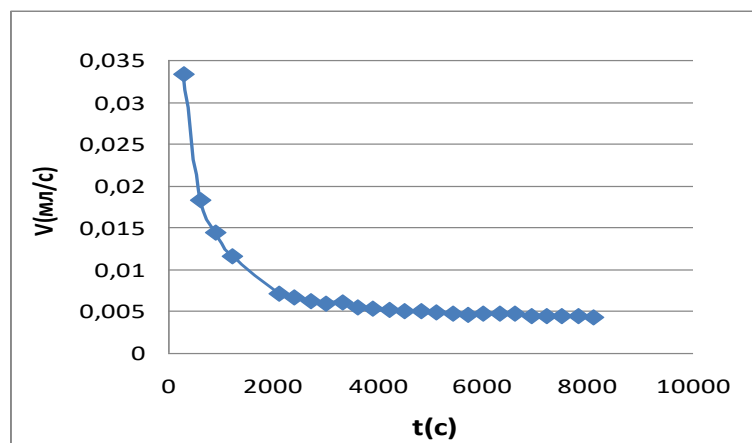


Рис. 1. Экспоненциальная функция зависимости объемного расхода воды  $Q$  от времени  $t$ . Меньково. Агродерново – подзолистая, типичная, супесчаная почва, гор-т С

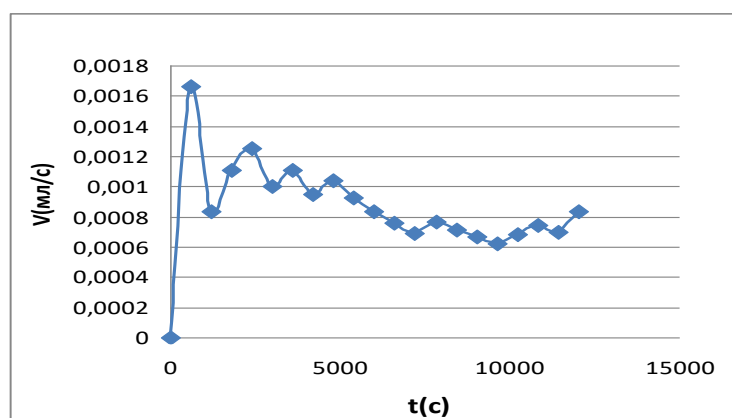


Рис. 2. Периодическая функция зависимости объемного расхода воды  $Q$  от времени  $t$  (наличие эффекта Харста). АПК Бугры. Агродерново – подзол окислено-глеевый, горизонт В<sub>1</sub>

Наряду с этим, для исследуемых почвенных образцов произведены расчеты фрактальной размерности общепринятым методом на основе данных сухого рассева – распределения агрегатов по размерам и определения объема твердой фазы почв. Полученные данные свидетельствуют о хорошей сходимости значений фрактальной размерности, определенной общепринятым и предлагаемым методами (табл. 1).

Таблица 1 – Значения фрактальной размерности объектов исследования

Название	Фрактальный декремент $\delta$	Фрактальная размерность $D$ ( $2+\delta$ )	Фрактальная размерность, общепринятый способ расчета
Агродерново-подзолистая типичная глееватая почва песчаного гранулометрического состава, гор-т С.	0,69	2,69	2,71
Агродерново-подзолистая, типичная, супесчаная почва, гор-т Р.	0,72	2,72	2,74
Агродерново-подзолистая, типичная, супесчаная почва, гор-т С.	0,54	2,54	2,59
Агрочернозем южный, гор-т Р (10–20 см)	0,83	2,83	2,87

*Выводы.* Результаты исследований позволяют оценить ряд важных гидрофизических показателей, которые подлежат измерению в рамках инженерно-мелиоративных изысканий, а также при оценке устойчивости состояния системы «почва–растения–приземный слой атмосферы» после антропогенных и природных воздействий. Такие оценки позволяют снизить трудоемкость работ по сбору данных (в том числе о гистерезисе водоудерживающей способности почв или дисперсных грунтов) для моделирования и проектирования инженерно-мелиоративных и других гидротехнических систем [6–9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Моисеев К.Г., Терлеев В.В. Применение фрактального моделирования в гидрофизике почв // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 125–136.
2. Найдёнов В.И., Кожевникова И.А. Эффект Харста в Геофизике // Природа. 2000. № 1. С. 3–11.
3. Моисеев К.Г., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д. Анализ динамики гумусного состояния почв фрактальными методами // Агрофизика. 2014. № 1. С. 1–8.
4. Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М.: МИФИ, 2005. 74 с. 46.
5. Моисеев К.Г. Фракталы: анализ временных рядов в агрофизике // В сборнике: Сборник докладов заседаний Санкт-Петербургского отделения Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. 2015 International Year of Soils. Санкт-Петербург, 2015. С. 3–13.
6. Терлеев В.В. Информационная поддержка модели влагопереноса в почве. Депонированная рукопись № RU94001479 15.12.1988
7. Малик А.А., Банкин М.П., Терлеев В.В. Расчет водоудерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических констант. Депонированная рукопись № RU94001487 19.01.1994
8. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225-231. (DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153).
9. Терлеев В.В., Топаж А.Г., Миршель В., Гурин П.Д. Моделирование главных ветвей иссушения и увлажнения петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы // Агрофизика. 2013. № 1. С. 22–29.

УДК 631.43

В.А. Лазарев<sup>1</sup>, К.Г. Моисеев<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЛОВАТОГО СУГЛИНКА ПРИ ОДИНАКОВЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Введение.* В связи с наблюдаемыми изменениями климата задачи проектирования гидротехнических сооружений, а также разработки энерго- и ресурсосберегающих агротехнологий становятся весьма актуальными. Необходимые исходные данные для решений этих задач могут быть получены в соответствующих инженерных изысканиях, а также в полевых и лабораторных (агрофизических и агрохимических) исследованиях. Одними из таких данных являются данные о водоудерживающей способности и влагопроводности почвы [1–3].

Водоудерживающую способность почвы принято формулировать в виде зависимости удельного содержания воды в этой среде (объемной влажности)  $\theta$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] от капиллярного давления влаги  $\psi$  [см H<sub>2</sub>O]. Зависимость  $\theta(\psi)$  называется функцией водоудерживающей способности (*water-retention capacity*, WRC) или основной гидрофизической характеристикой (ОГХ). До сих пор в научной литературе не представлено исчерпывающе полное физическое (физико-статистическое) обоснование водоудерживающей способности. Поэтому при



математическом описании зависимости  $\theta(\psi)$  часто используются эмпирические соотношения, которые предназначены, в принципе, для точечной аппроксимации данных прямых измерений.

Для водоудерживающей способности почвы характерен феномен гистерезиса. Это феномен проявляет себя, например, в том, что ветвь зависимости  $\theta(\psi)$ , образованная последовательностью десорбционных равновесий, отличаются от ветви, образованной последовательностью сорбционных равновесий влаги в почве. Это означает, что одному заданному значению  $\psi$  соответствует множество значений  $\theta$ . Известно, что среди этого множества максимальное значение соответствует т.н. главной ветви иссушения, а минимальное значение – главной ветви увлажнения гистерезиса водоудерживающей способности почвы.

Целью данного исследования является обоснование и построение модели гистерезиса водоудерживающей способности почвы при одинаковых значениях экспоненциального параметра гидрофизических функций.

Указанная цель достигается решением *следующих задач*: 1) теоретическое обоснование закономерностей, которым подчиняется водоудерживающая способность почвы; 2) формулирование теоретически обоснованных закономерностей в виде функциональных зависимостей, параметры которых допускают физическую интерпретацию; 3) верификация формулируемых зависимостей в рамках вычислительного эксперимента с использованием независимых данных о гистерезисе водоудерживающей способности четырех почвенных разностей из каталога Муалема [4]; 4) сравнение погрешностей RMSE (корень квадратный из суммы квадратов отклонения результатов расчета от опытных данных) формулируемых зависимостей с погрешностями WRC-функции Ван Генухтена [5] на основе критерия Вильямса-Клута.

*Метод исследования.* Для формулирования ОГХ применяются различные функции, например: функция Хаверкампа и соавторов [6] или функция Косуги [7]. В данной работе применяются и усовершенствованные аналоги указанных функций. Усовершенствование достигнуто использованием дополнительного аддитивного параметра  $\psi_e$  с размерностью капиллярного давления влаги. В усовершенствованных функциях применяются три физико-статистически интерпретированных параметра: экспоненциальный, мультипликативный и аддитивный. Первые два параметра учитывают причину гистерезиса, обусловленную изменчивостью площади поперечного сечения поры почвы в направлении ее продольной оси («эффект четок»), а третий (аддитивный) параметр учитывает наличие тупиковых пор, защемляющих воздух в почве и обуславливающих различие между «давлением входа воздуха» и «давлением входа воды» [8, 9].

Для функции Ван Генухтена используется обозначение WRC-VG. Для моделей гистерезиса с усовершенствованными функциями Косуги и Хаверкампа с соавторами в исследовании используются обозначения WRC-КТ и WRC-НТ, соответственно. При  $\psi_e=0$  функции WRC-КТ и WRC-НТ соответственно в виде частного случая сводятся к моделям водоудерживающей способности, разработанным Косуги, а также Хаверкампом и соавторами. Эти модели имеют обозначения WRC-КТ<sub>0</sub> и WRC-НТ<sub>0</sub>. Для отмеченных моделей гистерезиса водоудерживающей способности почвы не исключено возникновение нежелательного искусственного «эффекта помпы». Этот эффект заключается в том, что при осцилляции  $\psi$  в фиксированном интервале возможно пересечение сканирующей и главной ветвей гистерезиса, а также достижение величины  $S_e$  физически абсурдных значений. Можно предположить, что наиболее предпочтительным способом предотвращения возникновения «эффекта помпы» является применение условия равенства значений экспоненциального параметра  $n$  для ветвей иссушения и увлажнения:  $n_d = n_w$ .

Для идентификации (настройки) параметров рассматриваемых моделей применена компьютерная программа «Hysteresis» [10]. Идентификация проведена методом точечной

аппроксимации данных о главных ветвях иссушения и главных (граничных) ветвях увлажнения водоудерживающей способности четырех иловатых суглинков (3301 «*Carieol silt loam*», 3302 «*Grenville silt loam*», 3305 «*Ida silt loam (>15 cm)*», 3306 «*Ida silt loam (0-15 cm)*»), взятых из каталога Муалема [4].

*Результаты исследования.* При точечной аппроксимации опытных данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности функция WRC-VG имеет минимальное значение RMSE для одного объекта (лидер 0 раз, не отличается от лидера 1 раз), функция WRC-КТ имеет минимальное значение RMSE для четырех объектов (лидер 4 раза, не отличается от лидера 0 раз), функция WRC-КТ<sub>0</sub> имеет минимальное значение RMSE для 0 объектов, функция WRC-НТ имеет минимальное значение RMSE для двух объектов (лидер 0 раз, не отличается от лидера 2 раза), функция WRC-НТ<sub>0</sub> имеет минимальное значение RMSE для 0 объектов. При этом WRC-КТ точнее, чем WRC-КТ<sub>0</sub> для всех четырех объектов; WRC-НТ точнее, чем WRC-НТ<sub>0</sub> также для всех четырех объектов.

Полученные данные показывают, что в отношении погрешности аппроксимации опытных данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса существенное преимущество функций WRC-КТ и WRC-НТ над функцией Ван Генухтена WRC-VG выявлено для 3 из 4 объектов. При этом имеется некоторое преимущество функции WRC-КТ над WRC-НТ. Кроме того, из этих данных видна целесообразность применения аддитивного параметра, учитывающего «давление входа воздуха» и «давление входа воды», поскольку для всех четырех почвенных разностей WRC-функции с этим параметром достоверно точнее, чем их упрощенные аналоги.

*Выводы.* В гидрофизических расчетах, например – в расчетах прецизионных норм орошения применение функций гистерезиса водоудерживающей способности WRC-КТ и WRC-НТ представляется наиболее предпочтительным. Использование аддитивного параметра при идентификации параметров по данным о главных (граничных) ветвях гистерезиса способствует существенному уменьшению погрешности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Терлеев В.В., Миршель В., Баденко В.Л., Гусева И.Ю., Гурин П.Д. Физико-статистическая интерпретация параметров функции водоудерживающей способности почвы // *Агрофизика*. 2012. № 4. С. 1–8.
2. Банкин М.П., Заславский Б.Г., Терлеев В.В. Автоматизированная система определения влагопроводности почв // *Научно-технический бюллетень по агрономической физике*. 1988. Т. 72. С. 33–36.
3. Medvedev S., Topaj A., Badenko V., Terleev V. Medium-term analysis of agroecosystem sustainability under different land use practices by means of dynamic crop simulation // *IFIP*. 2015. Vol. 448. P. 252–261. (DOI: 10.1007/978-3-319-15994-2\_25).
4. Mualem Y. 1976. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 100 p.
5. Van Genuchten M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1980. Vol. 44. P. 892–989.
6. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1977. Vol. 41. P. 285–294.
7. Kosugi K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // *Water Resour. Res.* – 1994. – Vol. 30. – P. 891–901.
8. Гурин П.Д., Терлеев В.В. Использование логнормального распределения эффективных радиусов почвенных капилляров для моделирования водоудерживающей способности почвы // В сб.: *XL Неделя науки СПбГПУ*. 2011. С. 319–321.
9. Гурин П.Д., Терлеев В.В. Моделирование водоудерживающей способности почвы с учетом гистерезиса // В сб.: *Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата*. СПб., АФИ. 2012. С. 497–501.
10. Терлеев В.В., Топаж А.Г., Гурин П.Д. Программа «HYSTERESIS» для расчета сорбционных и десорбционных ветвей петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы // В сб.: *материалы научной сессии Агрофизического института*. СПб.: АФИ, 2013. С. 161–166.

## КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ (КРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ) ДЛЯ НАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ И ГРУНТОВ

*Введение.* В настоящее время засоление почв становится и проблемой регионов с гумидным климатом [1]. Очевидный пример – антропогенное засоление почв крупных городов умеренного климата, где соли – хлориды щелочных и щелочноземельных металлов – каждый год используют в качестве реагентов в борьбе с оледенением.

Другая важная причина изучения процесса засоления почв и коркообразования заключается в практической значимости этих процессов для практики орошения, дренажа и бонитировки земель [2]. Применение различного рода агротехнологий и агротехнических приемов, способствующих улучшению физико-химических свойств почв и предотвращению образования почвенной корки, требует точного количественного описания процесса засоления [1].

Однако построение дифференциальных уравнений процесса затруднено не только из-за сложности системы, которой является почва, но и из-за трудности проведения необходимых достаточно точных многоуровневых измерений отдельных свойств почв, скоростей протекания процессов и т.д. Поэтому многомасштабные системы, такие как почвы, удобно исследовать методами теории подобия и моделирования.

Для физического обеспечения моделирования необходимо установить количественное соответствие между параметрами, характеризующими модель, и параметрами оригинала, т.е. – правила взаимно-однозначного соответствия модели и оригинала – безразмерные комплексы, составленные из размерных параметров (критерии подобия) [3-5].

*Цель исследования* – построение критериальной зависимости подобия физических и физико-химических условий образования поверхностных почвенных корок при испарении почвенных растворов, содержащих различные по химическому составу соли.

*Объекты и методы.* Существует несколько способов построения безразмерных комплексов – критериев подобия, – которыми располагает теория подобия. В нашем случае математическое описание процесса не известно [1, 4, 5]: мы не располагаем полной системой дифференциальных и, тем более, интегральных уравнений процесса. Представления о процессе засоления почв и коркообразования находятся на уровне статистических (регрессионных) моделей, а также общих физических (качественных и полуколичественных) представлений, позволяющих выявить параметры процесса и записать полную функциональную зависимость, подлежащую исследованию в общем виде:  $f(X_1; X_2; \dots; X_n) = 0$ .

Данное уравнение представляет собой описательную модель процесса, в которой проделана предварительная работа: разделены параметры и связи (существенные и несущественные) для процесса. Для такого вида моделирования используется метод анализа размерностей теории подобия. При этом составляется полный список предикторов процесса и выписывают их формулы размерностей, составленные из основных единиц системы измерения, например [СИ], или системы, выбранной исследователем.

Далее имеются два способа построения безразмерных отношений (критериев подобия), определяющих процесс физических предикторов. Первый способ – это построение полных матриц размерности предикторов процесса и решение определителей для этих матриц [3]. Второй способ – решение систем уравнений размерности [4, 5]. Содержательность

получаемого результата в ходе этих анализов определяется полнотой начальной информации, которой располагает исследователь.

Рассмотрим процесс образования солевой корки на поверхности пористого твердого тела при испарении с поверхности солевого раствора, насыщающего поровое пространство. Процесс образования корки на границе двух сред (почвы и атмосферы) аналогичен выпадению осадков из насыщенных водных растворов солей при изменении термодинамических условий равновесия внутри многофазной системы.

Основную роль в этом процессе играет температура границы фаз. Химический состав раствора обуславливает растворение и выпадение веществ в осадок, которые сопровождаются термодинамическими эффектами. Существенными предикторами процесса, помимо прочностных свойств корки, являются несколько групп параметров: топологические параметры, физические и физико-химические характеристики твердой фазы почв и порового раствора, термодинамические параметры [1].

Перечисленные предикторы образуют физико-механическую систему существенных предикторов процесса в виде не явной функциональной зависимости:  $f(X_1; X_2; \dots; X_n) = 0$  или, учитывая, что нас, в первую очередь, интересует прочность корки  $P$ , запишем полную функциональную зависимость в явном виде:  $f(X_1; X_2; \dots; X_n) = P$ .

В [1] методом решения полных матриц размерности предикторов процесса было получено критериальное уравнение прочности почвенных корок общего вида:

$$P = C[\sigma y S_0]^n C_1 \left[ \frac{RT}{\Delta H} \right]^m, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения почвенного раствора;  $y$  – плотность воздушно сухой почвы (грунта);  $S_0$  – удельная поверхность почвы;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $\Delta H$  – тепловой эффект кристаллизации;  $C$  и  $C_1$  – эмпирические параметры;  $n, m$  – степени показательной функции (параметры  $C, C_1, n, m$  находятся из опыта). Из соотношения (1) видно, что прочность почвенной корки определяется природой засоления почвы, структурным состоянием и текстурой почвы и является функцией температуры, при которой происходило ее образование. Механическое и термодинамическое подобие процессов засоления определяется двумя критериями, и полная критериальная зависимость может быть представлена в виде:

$$\left( \frac{P}{\sigma y S_0}; \frac{RT}{\Delta H} \right) = 0.$$

Однако существенными для процесса засоления являются также электрокинетические явления в почвенном растворе, которые могут быть заданы набором следующих функцией в неявном виде:  $f(x; F; z; \alpha) = 0$ . Здесь:  $x$  – толщина диффузного слоя  $x$  [см],  $F$  – постоянная Фарадея (Кулон×моль [Кл×μ<sup>-1</sup>]),  $z$  – заряд ионов [Кл],  $\alpha$  – активность растворенного вещества [μ×см<sup>-3</sup>].

В основе любого количественного исследования лежит принцип абсолютности отношений [3–5]. Для каждого предиктора записывается формула размерности – выражение размерности предиктора через основные единицы выбранной системы измерения. При записи формул размерностей предикторов необходимо соблюдать правило Фурье – размерности всех предикторов должны быть выражены в единой системе измерения.

В данном случае для удобства анализа и построения системы уравнений размерности выбираем систему измерения в основе, которой лежат три единицы измерения: протяженность [см], электрический заряд [Кл], количество вещества [моль]. Итак, имеем четыре предиктора и три основных единицы измерения.

*Результаты.* Число параметров  $n$ , существенных для процесса, равно пяти, число основных единиц измерения  $k$  равно трем. Следовательно, существует две безразмерные комбинации параметров  $n-k$ , так что произведение  $x^\alpha F^\beta z^\gamma \alpha^\delta$  имеет нулевую размерность, т.е.,

будет осуществляться соотношение:  $x^\alpha F^\beta z^\gamma \alpha^\delta = L^0 I^0 \mu^0$ , где  $I$  – обозначение единицы измерения [Кл]. Без всякого ограничения общности мы можем принять одно из пяти чисел  $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $\gamma$ ;  $\delta$  равным  $\pm$  единице, т.к. любая степень безразмерной величины также является безразмерным числом [4]. Приняв  $\beta = 1$ , получим:

$$x^\alpha F^\beta z^\gamma \alpha^\delta = (L)^\alpha \left(\frac{I}{\mu}\right)^\beta (I)^\gamma \left(\frac{\mu}{L^3}\right)^\delta = L^0 I^0 \mu^0.$$

Приравняв показатели степеней при  $L$ ;  $I$ ;  $\mu$  слева и справа, построим систему уравнений:

$$L: \quad \alpha - 3\delta = 0;$$

$$I: \quad \beta + \gamma = 0;$$

$$\mu: \quad \delta - \beta = 0.$$

Отсюда оценены значения:  $\alpha$ ;  $\gamma$ ;  $\delta$ ; ( $\alpha = 3$ ;  $\gamma = -1$ ;  $\delta = 1$ ). Следовательно, единственно возможной безразмерной комбинацией величин  $x$ ,  $F$ ,  $z$ ,  $\alpha$  является отношение:  $\frac{F\alpha x^3}{z}$ , а полную критериальную зависимость (на основе данных обобщений) сформулируем в виде:

$$\left(\frac{F\alpha x^3}{z}; \frac{P}{\sigma y S_0}; \frac{RT}{\Delta H}\right) = 0.$$

#### *Выводы*

Построены критерии физического подобия процесса коркообразования на поверхности засоленных почв при выпотном водном режиме. В критерии подобия входят константы и переменные значения, которые можно задать априорно, легко определить или рассчитать. Предложен метод построения критериев подобия. Данный метод весьма перспективен для применения в мелиоративной практике и инженерно-гидротехнических расчетах при поиске решения широкого круга актуальных практических задач на объектах исследования значительной сложности [6–9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Моисеев К.Г., Данилова Т.Н., Терлеев В.В. Физическое обеспечение моделирования процессов образования почвенных солевых корок // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 124–134.
2. Николаенко А.Н. Моделирование и определение параметров физико-химических процессов в почвогрунтах для мелиоративных прогнозов. Автореф. дисс. ... канд. технических наук. М. 1983. С. 18
3. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): 3-е изд., перераб. и доп. М. Высшая школа, 1984. 439с.
4. Моисеев К.Г. Применение теории подобия к процессу уплотнения почв // Почвоведение. 2004. № 8. С. 934–936.
5. Моисеев К.Г. Критерии физико-механического подобия сопротивления почв размыву // Агрофизика. 2014. №. 4(16). С. 7–10.
6. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. P. 225-231. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153.
7. Малик А.А., Банкин М.П., Терлеев В.В. Расчет водоудерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических констант. Депонированная рукопись № RU94001487 19.01.1994
8. Терлеев В.В. Информационная поддержка модели влагопереноса в почве. Депонированная рукопись № RU94001479 15.12.1988
9. Терлеев В.В., Топаж А.Г., Миршель В., Гурин П.Д. Моделирование главных ветвей иссушения и увлажнения петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы // Агрофизика. 2013. № 1. С. 22–29.

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ СТРУКТУРЫ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Введение.* Общей чертой фрактальных моделей порового пространства почвы является аффинное подобие, т.е. масштабная инвариантность: пространство организовано из частей, которые подобны целому, автомодельны при изменении своего масштаба. Во фрактальных моделях порового пространства почвы главным параметром является топологическая размерность Хаусдорфа (обозначается  $d$ ;  $D$ ) [1, 2]. Фрактальная размерность  $D$ , с точки зрения топологии, характеризует степень заполнения пространства структурными элементами. Величину  $D$  вычисляют на основе нескольких алгоритмов, базирующихся на разных подходах к определению структурного элемента порового пространства, или на основе того, что принимают за основу вычислений: распределение пор по размерам в пространстве твердой фазы почвы или распределение по размерам твердых частиц в поровом пространстве почвы [3, 4]. Методы определения и вычисления фрактальной размерности  $D$  порового пространства почвы на основе разнообразных фрактальных моделей пористой среды и ее физических параметров представляет трудоемкую многошаговую операцию. Однако без точной оценки основной характеристики пористых фрактальных сред – фрактальной размерности  $D$  – моделирование структуры почвы бесполезно. Разработка более простых и менее трудоемких алгоритмов определения фрактальной размерности пористых сред является актуальной задачей [5].

*Цель работы:* на основе анализа изображений определить возможность и трудоемкость расчета  $D$  пористой среды.

*Объекты и методы.* Анализом изображений исследованы образцы почв: 1) агродерново-подзолистая, типичная, супесчаная почва на водно-ледниковых отложениях; горизонты пахотный (Р) и горизонт С (глубина 120 см); 2) агрочернозем слабогумуссированный, пылевато-глинистый суглинок на лессовидных породах.

Для фрактального анализа изображения порового пространства почвы применяется теория фрактальной фракции pore solid fractal structure (PSF) [4, 5]. Обозначим символами:  $f$  – фрактальную фракцию почв,  $p$  – почвенные поры,  $s$  – твердую фазу почвы. Изображение объекта для анализа (обычно для простоты) берут в виде квадрата со стороной  $L$  [6]. Если евклидова размерность пространства  $E = 2$ , то используется  $L^2$ . Для куба используется  $L^3$ . Важным является количество визуально выделяемых (тем или иным способом) кластеров ( $N$ ) структуры, вписанных в данное пространство  $L^2$  (или  $L^3$ ). Изображение в общем случае может быть представлено прямоугольником и многоугольником, поэтому суммарное количество кластеров  $N$ , покрывающих площадь данного изображения или пространственного объекта, делит длину  $L$  на некоторое количество отрезков  $n$ , так что  $n = \sqrt[E]{N}$ ; поэтому  $n$  (масштаб фрактала) может быть вообще представлен нецелым числом. Если  $E = 2$ , то  $n = \sqrt{N}$ . Длину  $L$  независимо от ее величины принимают равной 1. На фотографии, рентгенограмме или ином изображении ( $L^2$ ) почвенного образца, поры, твердые частицы, фрактальные объекты представляет собой смесь кластеров. При кластерном способе определения фрактала числом масштабов  $N$  выступает равенство:  $1 - f = s + p$ . Чтобы разделить изображение на кластеры  $f$ ,  $p$ ,  $s$ , используется технология тесселяции полигонами Вороного в программе QGIS. Технология тесселяции – покрытие всей математической плоскости фрактала (изображения)

на каждом шаге итерации коллекциями повторяющихся фигур, которые совмещаются друг с другом без наложений и пробелов.

Фрактальная размерность  $D$  вычисляется по формуле [7]:

$$D = E + \frac{\lg(1 - p - s)}{\lg n} \quad (1)$$

*Результаты.* Фотография (рис. 1) среза почвенного образца агрочернозема слабогумусированного, пылевато-глинистого суглинка на лессовидных породах разбита на полигоны, общее число которых на третьей итерации составило 729 ( $n = 729$ ). На рис. 2 сиреневым цветом отмечена сумма полигонов твердой фракции (431), а число полигонов для пор отмечено белым цветом и равно 8;  $E = 2$ . Фрактальная размерность вычислена по формуле:

$$D = 2 + \frac{\lg 298}{\lg 729} = 2,86.$$

Фрактальная размерность порового пространства почвы, вычисленная каноническим способом на основе физических данных о структуре и текстуре почвы, равна 2,87. Следовательно, имеет место достаточно точное совпадение значений фрактальной размерности, вычисленных методом анализа изображений, а также общепринятым (каноническим) способом.

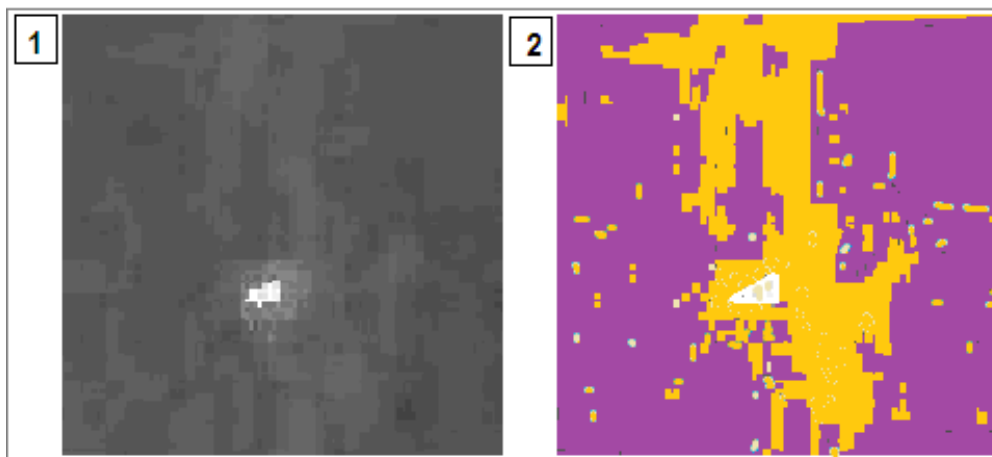


Рис. 1

Рис. 2

В таблице 1 даны вычисленные анализом изображений и каноническим способом значения фрактальной размерности исследованных почв. Из таблицы 1 видны близкие значения фрактальной размерности образцов почвы, определенных двумя сравниваемыми методами.

Таблица 1 – Значения фрактальной размерности объектов исследования

Название	Фрактальная размерность анализ изображений	Фрактальная размерность, общепринятый способ расчета
Агродерново-подзолистая, типичная, супесчаная почва, горизонт Р.	2,73	2,74
Агродерново-подзолистая, типичная, супесчаная почва, горизонт С.	2,52	2,59
Агрочернозем южный, горизонт Р (10–20 см)	2,86	2,87

*Выводы.* Анализ изображений при помощи технологии тесселяции (диаграммы Вороного) дает вполне реальные значения фрактальной размерности почвенной структуры. С использованием этих значений могут быть достаточно точно оценены важные показатели гидрофизических свойств почвы или дисперсного грунта, используемые в различных инженерно-мелиоративных и гидротехнических расчетах [8–10].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Моисеев К.Г., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д. Анализ динамики гумусного состояния почв фрактальными методами // *Агрофизика*. 2014. № 1. С. 1–8.
2. Моисеев К.Г. Фракталы: анализ временных рядов в агрофизике // В сб. докладов заседаний Санкт-Петербургского отделения Общества почвоведов им. В. В. Докучаева. 2015 International Year of Soils. Санкт-Петербург, 2015. С. 3–13.
3. Ghanbarian-Alavijeh, B., Millán, H. and Huang, G. A review of fractal, prefractal and pore-solid-fractal models for parameterizing the soil water retention curve // *Can. J. Soil Sci.* 2011. No. 91. P. 1–14.
4. Ghanbarian B., Hunt A.G., Daigle H. Fluid flow in porous media with rough pore-solid interface // *Water Resources Research*. 2016. No. 52(3). P. 2045–2058.
5. Моисеев К.Г., Терлеев В.В. Моделирование структуры капиллярно-пористой среды и вычисление дифференциальной пористости почвы // *Агрофизика*. 2017. № 3. С. 43–56.
6. Моисеев К.Г., Зинчук Е.Г. Возможности вейвлет-анализа фотоизображений почвенных профилей // *Экология и строительство*. 2019. № 4. С. 33–41.
7. Гончаров В.Д. Влияние характера землепользования на структуру обыкновенного чернозема и параметры ее фрактальных моделей. Автореф. дис. кан. техн. наук. Санкт-Петербург. 2004. С. 25.
8. Малик А.А., Банкин М.П., Терлеев В.В. Расчет водоудерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических констант. Депонированная рукопись № RU94001487 19.01.1994
9. Терлеев В.В. Информационная поддержка модели влагопереноса в почве. Депонированная рукопись № RU94001479 15.12.1988
10. Makarov A., Mihailova A., Arefiev N., Pavlov S., Chashchina T., Terleev V., Badenko V. Country area territory protection from flooding; construction conditions, problem definition and solution // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 225-231. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.153.

УДК 631.43

В.А. Лазарев<sup>1</sup>, В.В. Гарманов<sup>2</sup>, Е.А. Дунаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

<sup>3</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЛОВАТОГО СУГЛИНКА ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Введение.* Наблюдаемые изменения климата требуют их безотлагательного учета при обосновании проектов гидромелиоративных систем, а также при разработке и применении технологий прецизионного ирригационного земледелия. Такой учет предполагает проведение инженерных изысканий гидрологических условий территории строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем. К числу важнейших показателей гидрологических условий территории относятся гидрофизические свойства почвы [1–3].

Свойство почвы как капиллярно-пористой среды удерживать воду в жидком агрегатном состоянии принято описывать в виде зависимости удельного содержания воды в этой среде (объемной влажности)  $\theta$  [см<sup>3</sup>·см<sup>-3</sup>] от капиллярного давления влаги  $\psi$  [см H<sub>2</sub>O]. Зависимость  $\theta(\psi)$  называется функцией водоудерживающей способности (*water-retention capacity*, WRC). При описании зависимости  $\theta(\psi)$ , именуемой в отечественных изданиях основной



гидрофизической характеристикой (ОГХ), обычно применяют эмпирические соотношения. В рамках представлений классической термодинамики ОГХ представляет собой изотерму равновесных состояний почвенной влаги. Для водоудерживающей способности почвы характерен феномен гистерезиса. Это феномен проявляет себя, например, в том, что ветвь зависимости  $\theta(\psi)$ , образованная последовательностью десорбционных равновесий, отличаются от ветви, образованной последовательностью сорбционных равновесий влаги в почве. Это означает, что одному заданному значению  $\psi$  соответствует множество значений  $\theta$ . Известно, что среди этого множества максимальное значение соответствует т.н. главной ветви иссушения, а минимальное значение – главной ветви увлажнения гистерезиса водоудерживающей способности почвы. Промежуточные значения соответствуют т.н. сканирующим ветвям иссушения и увлажнения, которые заполняют область между главными ветвями петли гистерезиса.

*Целью данного исследования* является обоснование и построение модели гистерезиса водоудерживающей способности почвы при разных значениях экспоненциального параметра гидрофизических функций.

Указанная цель достигается решением следующих задач:

- 1) теоретическое обоснование закономерностей, которым подчиняется водоудерживающая способность почвы как капиллярно-пористой среды;
- 2) формулирование теоретически обоснованных закономерностей в виде функциональных зависимостей, параметры которых допускают физическую интерпретацию;
- 3) верификация формулируемых зависимостей в рамках вычислительного эксперимента с использованием независимых данных о гистерезисе водоудерживающей способности 4 объектов из каталога Муалема [4];
- 4) сравнение погрешностей RMSE (корень квадратный из суммы квадратов отклонения результатов расчета от опытных данных) формулируемых зависимостей с погрешностями наиболее известных WRC-функций.

*Метод исследования.* Для описания ОГХ в литературе применяются различные функции. К числу наиболее часто используемых относятся: функция Хаверкампа и соавторов [5], функция Ван Генухтена [6], а также функция Косуги [7]. В данном исследовании предлагаются усовершенствованные версии моделей, описанных в [5, 7]. Усовершенствование достигнуто применением дополнительного аддитивного параметра  $\psi_e$  с размерностью капиллярного давления влаги. Усовершенствованные версии этих функций содержат по три физико-статистически интерпретированных параметра, которые учитывают причины гистерезиса: изменчивость площади поперечного сечения почвенной поры в направлении ее продольной оси («эффект четок»); наличие тупиковых пор, защемляющих воздух в почве, что обуславливает различие между «давлением входа воздуха» и «давлением входа воды» [8, 9].

Для функции Ван Генухтена используется обозначение WRC-VG. Для моделей гистерезиса с усовершенствованными функциями Косуги и Хаверкампа с соавторами в исследовании используются обозначения WRC-КТ и WRC-НТ, соответственно. При  $\psi_e=0$  функции WRC-КТ и WRC-НТ соответственно в виде частного случая сводятся к оригинальным моделям водоудерживающей способности, разработанным Косуги, а также Хаверкампом и соавторами. Эти модели имеют обозначения WRC-КТ<sub>0</sub> и WRC-НТ<sub>0</sub>.

Для настройки параметров рассматриваемых моделей методом использована компьютерная программа «Hysteresis» [10]. Настойка выполнена по данным о главных ветвях иссушения и главных (граничных) ветвях увлажнения водоудерживающей способности четырех иловатых суглинков (3301 «Carieol silt loam», 3302 «Grenville silt loam», 3305 «Ida silt loam (>15 cm)», 3306 «Ida silt loam (0-15 cm)»), взятых из каталога Муалема.

*Результаты исследования.* При точечной аппроксимации опытных данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности функция WRC-VG имеет

минимальное значение RMSE для двух объектов (лидер 0 раз, не отличается от лидера 2 раза), функция WRC-КТ имеет минимальное значение RMSE для четыре объектов (лидер 3 раза, не отличается от лидера 1 раз), функция WRC-КТ<sub>0</sub> имеет минимальное значение RMSE для 0 объектов, функция WRC-НТ имеет минимальное значение RMSE для четырех объектов (лидер 2 раза, не отличается от лидера 2 раза), функция WRC-НТ<sub>0</sub> имеет минимальное значение RMSE для одного объекта (лидер 0 раз, не отличается от лидера 1 раз). При этом WRC-КТ точнее, чем WRC-КТ<sub>0</sub> для всех 4 объектов; WRC-НТ точнее, чем WRC-НТ<sub>0</sub> также для всех четырех объектов.

Полученные данные показывают, что в отношении погрешности аппроксимации опытных данных о главных (граничных) ветвях гистерезиса существенное преимущество функций WRC-КТ и WRC-НТ над функцией Ван Генухтена WRC-VG выявлено для двух из четырех объектов. При этом имеется некоторое преимущество функции WRC-КТ над WRC-НТ. Кроме того, из этих данных видна целесообразность применения аддитивного параметра, учитывающего «давление входа воздуха» и «давление входа воды», поскольку для всех четырех иловатых суглинков WRC-функции с этим параметром достоверно точнее, чем их упрощенные аналоги.

#### *Выводы*

1. В расчетах прецизионных норм орошения сельскохозяйственных культур применение функций гистерезиса водоудерживающей способности WRC-КТ и WRC-НТ представляется наиболее предпочтительным.

2. Применение дополнительного аддитивного параметра при идентификации параметров по данным о главных (граничных) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почвы способствует существенному уменьшению погрешности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Полуэктов Р.А., Опарина И.В., Семенова Н.Н., Терлеев В.В. Моделирование почвенных процессов в агроэкосистемах. СПб.: СПбГУ, 2002. 148 с.
2. Банкин М.П., Заславский Б.Г., Терлеев В.В. Автоматизированная система определения влагопроводности почв // Научно-технический бюллетень по агрономической физике. 1988. Т. 72. С. 33–36.
3. Терлеев В.В., Миршель В., Баденко В.Л., Гусева И.Ю., Гурин П.Д. Физико-статистическая интерпретация параметров функции водоудерживающей способности почвы // Агрофизика. 2012. № 4. С. 1–8.
4. Mualem Y. 1976. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 100 p.
5. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J., Vachaud G. A comparison of numerical simulation model for one-dimensional infiltration // Soil Sci. Soc. Am. J. 1977. Vol. 41. P. 285–294.
6. Van Genuchten M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. Vol. 44. P. 892–989.
7. Kosugi K. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // Water Resour. Res. – 1994. – Vol. 30. – P. 891–901.
8. Гурин П.Д., Терлеев В.В. Моделирование водоудерживающей способности почвы с учетом гистерезиса // В сб.: Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата. СПб., АФИ. 2012. С. 497–501.
9. Гурин П.Д., Терлеев В.В. Использование логнормального распределения эффективных радиусов почвенных капилляров для моделирования водоудерживающей способности почвы // В сб.: XL Неделя науки СПбГПУ. 2011. С. 319–321.
10. Терлеев В.В., Гопаж А.Г., Гурин П.Д. Программа «HYSTERESIS» для расчета сорбционных и десорбционных ветвей петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы // В сб.: материалы научной сессии Агрофизического института. СПб.: АФИ, 2013. С. 161–166.

**ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ РЕВИТАЛИЗАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
НА ПРИМЕРЕ ПОЛИГОНА ТБО «БЫВШАЯ ЯБЛОНОВСКАЯ СВАЛКА»  
В НЕВСКОМ РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

*Цель:* сформулировать основные принципы и определить технологические подходы для формирования концепции ревитализации полигона ТБО «Бывшая Яблоновская свалка» с учётом современных тенденций и принципов ландшафтного и экологического урбанизма.

Данная проблема сформировалась давно, это доказывает существующий отечественный и зарубежный опыт восстановления и рекультивации различного рода антропогенных земель. Однако при выборе характера использования таких территорий однозначно необходимо учитывать их расположение в планировочной структуре города, а также сопоставлять затраты на их ревитализацию (экономический аспект) с природно-хозяйственной ценностью этих земель, уделяя особое внимание оздоровлению окружающей среды (экологический аспект).

По итогам анализа отечественного и зарубежного опыта ревитализации нарушенных территории выявлено, что наиболее распространенным видом «оживления» нарушенных территорий, в частности бывших свалок ТБО, является освоение их для видов рекреации.

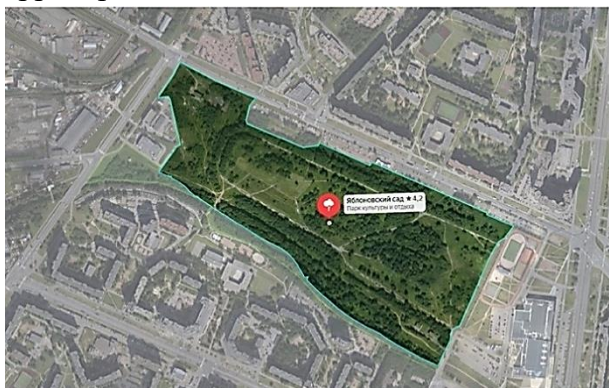


Рис. 1. Территория объекта исследования

Объект исследования – «Бывшая Яблоновская свалка» является законсервированным полигоном ТБО с 1978 г., расположенным внутри жилой застройки в Невском районе Санкт-Петербурга рядом с р. Оккервиль (рис. 1). На данный момент является зеленым насаждением общего пользования (далее – ЗНОП) и входит в перечень охраняемых территорий с 2013 г.

С каждым годом усиливается концентрация внимания со стороны общества и власти к «зеленому» строительству, что подтверждает появление в 2022 г. ГОСТ Р «Зеленые» стандарты для многоквартирного жилья, это событие является толчком к экоустойчивому строительству [1]. При этом следует отметить, что до этого момента в России не существовало утвержденных «зеленых» стандартов, в то время как за рубежом уже давно были разработаны ведущие международные системы зеленой сертификации: BREEAM (Англия, 1990 г.), LEED (США, 1998 г.), DGNB (Германия, 2009 г.), с учетом опыта которых и был разработан ГОСТ Р [2].

Однако в России аналогом описанных выше систем считают систему сертификации GREEN ZOOM, разработанную в 2014 г. и направленную на оценку возведенных жилых объектов целям устойчивого развития в аспекте энергоэффективности и экологичности.

При проектировании новых рекреационных зон необходимо учитывать разработанные стандарты, цели и принципы, утвержденные в них. Приведенные системы сертификации предназначены для жилого строительства, вместе с тем следует отметить, что в градостроении территориальные зоны неразрывно связаны между собой, поэтому для гармоничного,

функционального и экологического проектирования необходимо учесть требования, касаемые зеленого строительства, и внедрить их в разрабатываемую концепцию.

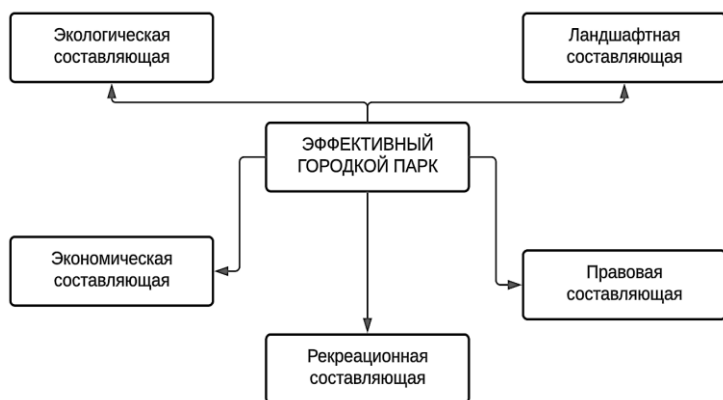


Рис. 2. Составляющие эффективного городского парка

Составляющими для успешного воссоздания из нарушенных территорий рекреационной зоны в виде парка или сада являются учет аспектов, затрагивающих все сферы общества (рис. 2), позволяющих по итогам реализации получить качественное зеленое городское пространство, которое заполнит так называемые «дыры» от неиспользуемой заброшенной ранее территории, сделает среду связной, оживленной

и придаст ей новые функциональные возможности [3]. Для выявления принципов и подходов ревитализации выполнен SWOT-анализ территории исследования (табл. 1).

Таблица 1 – SWOT-анализ территории полигона ТБО «Бывшая Яблоновская свалка»

<p>Сильные стороны (S)</p> <p>Большая площадь (22 га)</p> <p>Транспортная доступность</p> <p>Перепады рельефа</p> <p>Красивые виды</p> <p>Наличие зеленых насаждений</p>	<p>Слабые стороны (W)</p> <p>Отсутствие благоустройства</p> <p>Вытянутая форма участка</p> <p>Антропогенный ландшафт</p>
<p>Возможности (O)</p> <p>Создание ландшафта с существующими зелеными насаждениями</p> <p>Использование перепада рельефа для планировочного решения</p>	<p>Угрозы (T)</p> <p>Выход строительных отходов из тела свалки</p> <p>Угроза сползания грунта</p> <p>Риск исключения территории полигона из перечня ЗНОП</p>

По итогам анализа современных тенденций в «зеленом» строительстве России и с учетом выполненного SWOT-анализа территории полигона выявлен перечень принципов, который необходимо учесть при формировании концепции ревитализации полигона ТБО «Бывшая Яблоновская свалка»:

1. Принцип экологозащитного паркостроения

Территория представляет собой антропогенный ландшафт из холм-терриконов, площадью 22,08 га, состоящих из свалочных масс. Существующие природные особенности территории: перепад высот холм-терриконов в 5–6 м, градус склона берегов р. Оккервиль, нарушенный ландшафт. Перед формированием концепции следует в обязательном порядке определить путем выполнения лабораторной диагностики состояния тела свалки на каком этапе жизненного цикла находится свалочное тело, выявить необходимость в полном или частичном экранировании тела свалки, определить целесообразность создания систем отвода газов, образуемых в теле свалки, и дренажной системы [4].

На территории Объекта имеется большое количество зеленых насаждений, поэтому концепция ревитализации должна предусматривать максимальное их сохранение, тем не менее следует предусмотреть мероприятия по инвентаризации существующей растительности для обоснования необходимости вырубki зелёных насаждений или возможности организации пересадки. Данный принцип направлен на определение экологического воздействия свалки, а

далее предотвращения выноса загрязняющих веществ из тела полигона ТБО «Бывшая Яблоновская свалка» в окружающую среду. Необходимо уточнить, что при ревитализации техногенных ландшафтов зачастую прибегают к комплексам работ по рекультивации нарушенных территорий, но поскольку Объект расположен вблизи жилой застройки, то реализовать в полной мере этапы данного метода не удастся, поскольку они повлекут за собой негативное воздействие на жителей близлежащей территории [5].

## 2. Принцип зонирования, учитывающего специфику территории

Территория Яблоновского сада не однородна с точки зрения состояния, восприятия и актуального использования. Остро выражена нехватка новых функциональных зон парка: обособленная зона для выгула собак, зона сухого пляжа, зона для пикников, зона для тихого отдыха. Обязательной составляющей современного зеленого общественного пространства является интегрирование связанного и эффективного пешеходного пространства с формируемыми функциональными зонами. Территория Объекта сегодня преимущественно транзитная, и такую функцию жители района видят, как важную и в будущем. Поэтому помимо зон для пешеходных прогулок необходимо предусмотреть велодорожки, что позволит создать интеграцию инфраструктур, позволяя людям, совершающим велопогулку, беспрепятственно добираться до нужной локации.

## 3. Принцип соучаствующего проектирования

В ходе проектирования важно обсуждать разрабатываемую концепцию благоустройства территории с жителями района и приходить к общему видению в процессе обсуждения, выработывая тем самым социальную вовлечённость.

## 4. Принцип инновационного эко-проектирования

По всем канонам эко-урбанизма в процессе реализации проекта ревитализации следует внедрять технологии научно-технического прогресса в разрабатываемую концепцию: использовать экологичные материалы (использование материалов с переработанной составляющей) для благоустройства территории, предусмотреть пластичное моделирование рельефа и сделать парковое пространство интуитивным, комфортабельным и безопасным, используя интеллектуальные световые сценарии (ударопрочный полимер для подсветки дорожно-тропиночной сети в тёмное время суток) [5].

*Выводы.* Таким образом, представленный перечень принципов позволит создать «ландшафтно-функциональную модель» ревитализации территории «Бывшая Яблоновская свалка», которая преобразит деградированную территорию и уменьшит негативное экологическое воздействие на окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Ремизов А. Устойчивые принципы нового урбанизма. Предпосылки «зеленого» строительства.
2. Садковская О.Е. Технологии эко-урбанизма как ответ на последствия изменения климата. // Урбанистика. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-eko-urbanizma-kak-otvet-na-posledstviya-izmeneniya-klimata> (дата обращения: 16.02.2024).
3. Цзини Хао, Козлов В.В. Градостроительная экология и тенденции развития городских парков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. №4 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitel'naya-ekologiya-i-tendentsii-razvitiya-gorodskih-parkov> (дата обращения: 25.02.2024).
4. Новицкий М.Л., Азиатцева М.В. Современные тенденции, состояние и особенности рекультивации полигонов твёрдых бытовых отходов (обзор) // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022. №3 (164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-sostoyanie-i-osobennosti-rekultivatsii-poligonov-tvyordyh-bytovyh-othodov-obzor> (дата обращения: 15.02.2024).
5. Васильев Н.В. Реабилитация антропогенных территорий как способ сохранения индустриального наследия // Баландинские чтения. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-antropogennyh-territoriy-kak-sposob-sohraneniya-industrialnogo-naslediya> (дата обращения: 28.02.2024).

## АЭРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ МНОГОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПЕШЕХОДНУЮ КОМФОРНОСТЬ В ГОРОДЕ МУРИНО

На данный момент город Мурино является одним из наиболее развивающихся городов Ленинградской области. 15 апреля 2019 года Мурино изменило статус с сельского поселения на городское поселение с численностью официального населения в 49 664 человека. В 2023 году численность его населения выросла до 104 911 человек, что позволило обойти по данному показателю столицу Ленинградской области город Гатчину (92 684 чел.).

В связи с активным ростом населения и относительной ограниченностью в земельных ресурсах (площадь города на 2023 г. составляет 20,4 км<sup>2</sup>), увеличение жилой площади происходит за счёт увеличения этажности возводимых домов. Средняя этажность жилых комплексов в Мурино составляет 20 этажей, в свою очередь плотность населения составляет 1005,12 чел./км<sup>2</sup> и постоянно увеличивается за счёт возведения новых жилых комплексов в северной части города. Однако, с принятием высотного регламента наблюдается положительная тенденция на уменьшение этажности, так большинство новостроек на севере города будут возвышаться не выше 18 этажей, а средняя высотность ограничится 16-ю этажами [1, 2].

В настоящее время в России для оценки ветрового комфорта используют МДС 20-1.2006 и МГСН 4.19-2005. В таблице 1 приведены нормы комфортности из первого документа, по которой уровень комфортности можно разделить на три уровня в зависимости от скорости ветра в порыве на уровне 1,5 м.

Таблица 1 – Комфортность по МДС 20-1.2006

Уровень комфортности	I	II	III
$V_{cr}$ , м/с	6	12	20
$T_{lim}$ , ч/год	1000	50	5

Так же существуют более детальные шкалы по определению силы (скорости) ветра в баллах, действующего на приземный уровень земли, например шкала Бофорта. Это эмпирическое правило подходит для оценки комфортности и было представлено Ф. Вайсом и А.Д. Пендварденом в ее модифицированной версии.

Тенденция на снижения высотности жилых домов показывает, что плотная многоэтажная застройка приносит множество негативных последствий для жителей города, примером таких последствий может стать нарушения аэрации города и, следовательно, снижения уровня пешеходной комфортности.

В приземном слое атмосферы движение воздушных масс претерпевает значительные изменения за счет влияния шероховатости поверхности, которая зависит, например, от расположения, формы и размеров зеленых насаждений, зданий в жилой застройке или положения зданий относительно розы ветров, природно-климатических или антропогенных факторов. Формирование переходной комфортности в плотной застройке города Мурино является одной из важнейших задач, решаемых при проектировании и строительстве новых зданий и сооружений.

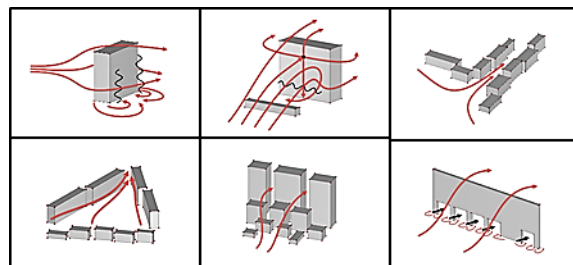


Рис. 1. Негативные последствия влияния застройки на ветровой режим



Рис. 2. Карта плотности пешеходных потоков г. Мурино

Для проведения оценки пешеходной комфортности на территории города Мурино в первую очередь были проанализированы основные пешеходные маршруты и выбраны точки с плотным пешеходным трафиком. Данные о маршрутах были взяты с сервиса «Народная карта» в разделе GPS-треки. Данная карта представлена на рисунке 2. Наибольшая плотность передвижения выделена синим цветом, а наименьшая красным. Видно, что наибольшая плотность передвижения сосредотачивается на основных магистралях города, а именно на бульваре Менделеева, Петровском бульваре, проспекте Авиаторов Балтики и улице Шувалова.

На основе анализа были выделены основные места измерения скорости воздушного потока. Измерения проводились крыльчатым анемометром АТТ-1003 с разрешением в 0,1 м/с. Измерения проводились 22 ноября 2023 года в период с 10 до 16 часов дня. Контроль результатов измерений проводился с

Оценка пешеходной комфортности также включает в себя выявление неблагоприятных явлений, вызванных отклонением ветрового потока из-за зданий. Например, при включении новых зданий в существующую застройку ветровой режим может кардинально измениться, что станет создавать неудобства жителям территории. К неблагоприятным эффектам может привести практически любое здание высотой более 25 м. Сформулированы типичные формы воздействия ветра на здания, такие как образование вихрей, образование вихрей на фасаде, образование туннеля, эффект Вентури, ветрозащитный эффект и пропускной эффект. На рис. 1 представлены перечисленные явления [3].

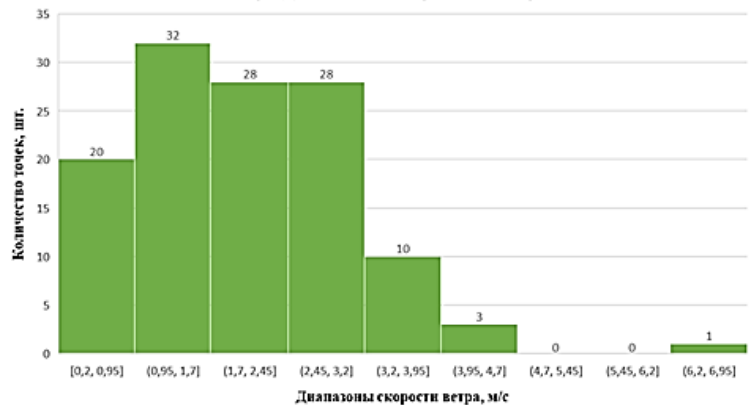
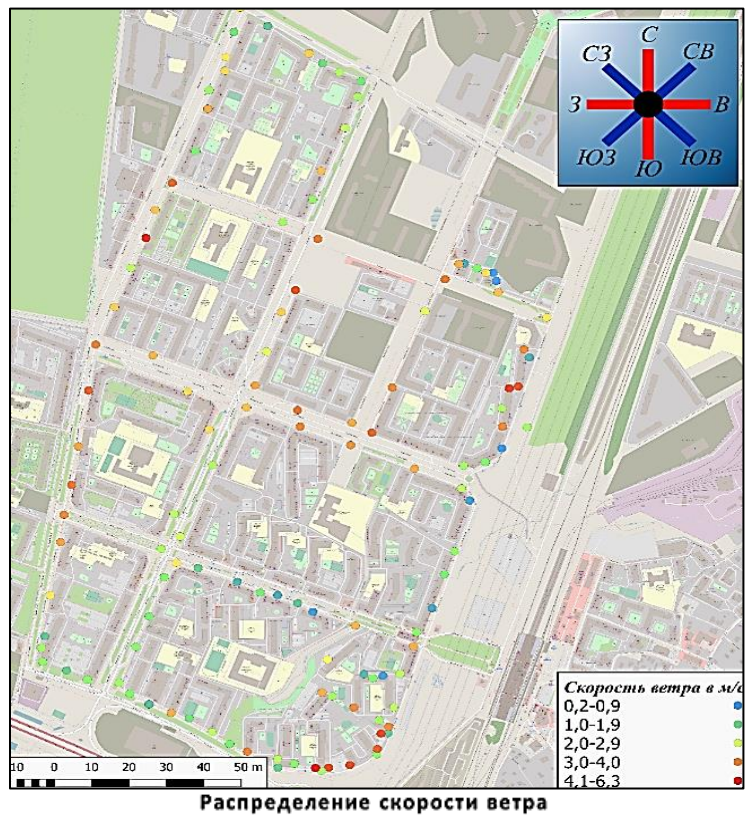


Рис. 3. Визуализация результатов измерений и график распределения скорости ветра

учетом погодных условий, спрогнозированных и записанных в течение этого же дня службой Гидрометцентра России. Значения скорости ветра в период измерений составляли 1 м/с, а его направление менялось с западного на юго-западное [5]. Значения скорости воздушного потока брались как среднее значение за период в 1 минуту и заносились в приложение для телефона SWMaps, которое позволяет записывать координаты точек отбора проб и добавлять к ним любые характеристики, в данном случае скорость ветра. По итогам измерений получилось набрать 130 точек.

Далее данные были выгружены на компьютер и в программе QGIS были визуализированы (рис. 3). По цвету можно узнать диапазон скорости ветра в данной точке. Также представлен график (рис. 3) диапазонов скорости ветра и количество точек в этих диапазонах. Больше всего точек в диапазоне от 0,95 до 1,7.

По результатам измерений можно сделать вывод о том, что на основных магистралях города присутствует увеличение скорости ветра в 2–3 раза, относительно прогнозируемого на данной территории. Это может быть обусловлено так называемым тоннельным эффектом, который образуется за счет движения воздушных масс по «тоннелю», образованному домами. Это чётко видно на Петровском бульваре и Воронцовском бульваре. Также наблюдается эффект Вентури в южной части города, там близко расположенные высотные здания придают ускорение воздушному потоку за счет сужения направления, что приводит к снижению давления в данной зоне. Такие эффекты увеличивают скорость ветра в 2–3 раза, что не сильно заметно при скорости ветра в 1 м/с, но уменьшает пешеходную комфортность при средней скорости ветра в –4 м/с, когда порывы могут достигать 8–12 м/с, что делает нахождение людей на улице при отрицательной температуре и повышенной влажности дискомфортным и в некоторых случаях опасным.

Данные результаты носят относительный характер, так как проводились только в один и очень короткий момент времени, для повышения релевантности результатов и формирования более точного анализа ветрового и аэрационного режимов города необходимо проводить компьютерное моделирование на актуальной трехмерной модели, например, при помощи CFD моделирования. Оно дает возможность, как при внесении изменений в существующую застройку, так при выявлении негативных процессов, моделирования долговременных измерений на всей территории и при различных характеристиках воздушных масс. Данное моделирование должно проводиться на этапе проектирования новых объектов градостроительства для выявления отрицательного влияния на сформировавшуюся территорию, но, к сожалению, застройщики делают моделирование только для своего объекта. Самым правильным и точным анализом аэрационного режима города можно считать испытания в аэротрубе ландшафтного типа, которая позволяет «продувать» объекты, моделируя поведение воздушных масс в приземном слое атмосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мурино. Стремительно развивающийся город с многовековой историей // Мурино URL: <https://murino47.ru/> (дата обращения: 02.03.2024).
2. Историческая справка // Муниципальное образование "Муринское городское поселение" URL: <https://xn----7sbapuabb4afggnvekrx7c1l.xn--p1ai/> (дата обращения: 02.03.2024).
3. Ветровой комфорт в пешеходных зонах и вблизи зданий // Dlubal Software GmbH URL: <https://www.dlubal.com/ru/podderzhka-i-obuchenije/podderzhka/baza-znaniy/001646> (дата обращения: 02.03.2024).
4. Архив фактической погоды // Гидрометцентр России URL: <https://meteoinfo.ru/pogoda/russia/leningrad-region/sankt-peterburg> (дата обращения: 03.03.2024).
5. Оленьков В.Д., Тазеев Н.Т. Расчёт ветровых нагрузок с учётом локальных изменений скорости ветра в застройке // Южно-Уральский государственный университет. Вестник южно-уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. – 2019. – 19(4). – С. 5–17.



## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВЕЛОИНФРАСТРУКТУРЫ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

*Введение.* Санкт-Петербург – город миллионник. В таких крупных городах очень важна мобильность людей в передвижении по нему. Необходимо принимать во внимание развитие общественного транспорта между районами. Не стоит забывать и о таком мобильном средстве передвижения по городу как велосипед. Данный вид транспорта помогает сократить время перемещения из начальной точки в конечную, что сделает город более удобным для жизни в нем. [1, 2] В основном его используют для преодоления расстояний до 10 км, что по времени занимает около 1 часа. Также велосипед может быть использован и в качестве промежуточного вида транспорта, например, житель города может проехать на нем до метро и оставить на перехватывающей парковке [3, 4].

*Цель работы* – оценить перспективы развития велосипедной инфраструктуры с учетом существующих маршрутов.

*Актуальность.* В настоящее время в городе достаточно плохо развита велосипедная инфраструктура, из-за чего жители вынуждены перемещаться по проезжей части. Из-за разностей скоростей часто возникают аварийные ситуации с участием велосипедистов.

На официальном сайте администрации Санкт-Петербурга имеется информация о создании концепции развития велоинфраструктуры и велодвижения на период до 2030 года. [5, 6] Данный документ должен был быть опубликован в ноябре 2023 года, но отправлен на доработку. Согласно информации, на сайте законодательного собрания Санкт-Петербурга, в концепции описывалось, что собираются создать более 800 км веломаршрутов до 2030 года. [7, 8] Все это говорит о нацеленности властей города развивать велосипедное движение в городах и улучшать микромобильность жителей.

Велосипедные маршруты должны быть интегрированы в общую улично-дорожную сеть города, чтобы обеспечить комфортное и безопасное передвижение велосипедистов. Между длиной улично-дорожной сети города и протяженностью велосипедных маршрутов существует прямая взаимосвязь: чем больше улиц и дорог в городе, тем больше возможностей для создания протяженных велосипедных маршрутов. Это особенно актуально для крупных городов, где велосипедные маршруты могут соединять разные районы и обеспечивать быстрое и комфортное перемещение.

В таблице 1 отобраны значения протяженностей веломаршрутов и улично-дорожной сети из докладов о реализации генерального плана с 2018 по 2022 годы и приведены соотношения этих двух показателей. [5, 6]

Таблица 1 – Динамика изменения протяженности велосипедной инфраструктуры в Санкт-Петербурге за период 2018-2022 годов

	2018	2019	2020	2021	2022
Протяженность велоинфраструктуры, км	103,9	117,4	127,8	134,5	143,7
Протяженность УДС, км	3461,8	3473,2	3485,7	3495,2	3503,0
Соотношение протяженностей, %	3,00	3,38	3,67	3,85	4,10

По данным таблицы 1 можно сделать выводы, что доля велосипедных маршрутов в Санкт-Петербурге увеличивается примерно на 0,3% в год, что соответствует 10 км новых дорожек.

Велосипедные маршруты можно реализовать несколькими вариантами. Существует три основных вида велоинфраструктуры:

#### 1. Велосипедная дорожка

Велосипедная дорожка – конструктивно отделенный от проезжей части и тротуара элемент дороги (либо отдельная дорога), предназначенный для движения велосипедистов и лиц, использующих для передвижения средства индивидуальной мобильности. Этот вид инфраструктуры наиболее привлекателен для использования велосипедов, так как является самым безопасным, благодаря разделению потоков. Важно учесть, что для данного типа требуется выделить место на улице, что не всегда бывает возможным в стесненных условиях, а также требует значительных затрат на обустройство.

#### 2. Велосипедная полоса

Велосипедная полоса – полоса проезжей части, предназначенная для движения на велосипедах и мопедах, отделенная от остальной проезжей части горизонтальной разметкой. Такой вид используют при избыточной ширине проезжей части и не требует больших затрат на их обустройство. Недостатками такого типа велоинфраструктуры можно считать, что из-за того, что она отделена только разметкой, то на велосипедной полосе часто образуются несанкционированные парковки автомобилей, а также из-за близости потоков, возникают аварийные ситуации.

#### 3. Велопешеходная дорожка

Пешеходная и велосипедная дорожка (велопешеходная дорожка) – конструктивно отделенный от проезжей части элемент дороги, предназначенный для раздельного или совместного с пешеходами движения велосипедистов и лиц, использующих для передвижения средства индивидуальной мобильности. При таком типе велоинфраструктуры возникают аварийные ситуации из-за смешения потоков людей и велосипедистов, так как они не разделены физически между собой. Велопешеходные дорожки легки в обустройстве.

Следует отметить, что существует еще один вид велосипедной инфраструктуры – велосипедная зона. При движении по ней приоритет отдается велосипедистам, но по ней также могут перемещаться автомобили и пешеходы, не мешая при этом велотранспорту; также действует ограничение по скорости в 20 км/ч. В Санкт-Петербурге велосипедная зона не используется.

В таблице 2 и на рисунке 1 отображены изменения протяженностей видов велосипедной инфраструктуры в период с 2018 по 2022 года [7–10].

Таблица 2 – Изменение баланса территории Санкт-Петербурга по видам функциональных зон в 2020 году по сравнению с планируемыми показателями за 2018 год

Наименование зоны	2018	2019	2020	2021	2022
Велосипедная полоса, км	21,8	23,8	28,1	28,1	28,1
Велосипедная дорожка, км	34,2	36,2	36,2	36,2	36,2
Велопешеходная дорожка, км	47,9	57,4	63,5	70,2	79,4
Велозона, км	0	0	0	0	0
Всего, км	103,9	117,4	127,8	134,5	143,7

Из рисунка 1 следует, что в Санкт-Петербурге имеются три вида велосипедной инфраструктуры. За рассматриваемый период протяженность велопешеходных дорожек увеличилась почти в 2 раза, однако за промежуток с 2020 по 2022 года не было обустроено ни одной велополосы или велодорожки.

*Вывод.* Велосипедная инфраструктура необходима в Санкт-Петербурге и ее важно развивать. Очень небольшая часть улично-дорожной сети города обустроена для передвижения по ней велосипедистов (на 2022 год около 4% от всех дорог), и, к сожалению, это доля растет небольшими темпами (около 10 км веломаршрутов в год).



Рис. 1. Визуализация результатов измерений  
и график распределения скоростей ветра

В Санкт-Петербурге в основном применяются варианты быстрого создания велосипедных маршрутов путем нанесения на тротуар дорожной разметки, а именно, велопешеходные дорожки, даже несмотря на то, что при этом возникает большая вероятность возникновения аварийных ситуаций. Другие виды велосипедной инфраструктуры создают в небольших количествах и не каждый год.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Общественный транспорт и микромобильность мегаполиса / Д. Баранов, А. Крылова, И. Резников [и др.] // Резолюция. Конференция «Урбанистический форум 2023» : электронный журнал. – URL: <https://urbanconf.ru/resolutions/urbanconf23.pdf> (дата обращения: 01.03.2024).
2. Трофименко Ю.В. Велосипедный транспорт в городах: монография / Ю.В. Трофименко. – М.: МАДИ, 2020. – 154 с.
3. В Петербурге разработают концепцию развития велоинфраструктуры в городе : сайт. – URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/news/259010/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/news/259010/) (дата обращения: 02.03.2024).
4. Депутаты поддержали концепцию развития велоинфраструктуры Санкт-Петербурга : сайт. – URL: <https://www.assembly.spb.ru/article/633200002/165250/Deputaty-podderzhali-koncepciyu-razvitiya-veloinfrastruktury-Sankt-Peterburga> (дата обращения: 02.03.2024).
5. Государственная программа Санкт-Петербурга «Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга» : сайт. – URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_transport/gosudarstvennaya-programma-sankt-peterburga-razvitie-transportnoj-sist/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/gosudarstvennaya-programma-sankt-peterburga-razvitie-transportnoj-sist/) (дата обращения: 02.03.2024).
6. Генеральный план СПб. Доклады правительства Санкт-Петербурга : сайт. – URL: <https://www.assembly.spb.ru/rubric/990/Doklady-Pravitelstva-Sankt-Peterburga> (дата обращения: 02.03.2024).
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
8. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
9. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
10. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст. – Архангельск, 2020. – С.115–118.

ДОХОДНЫЙ ДОМ XVIII ВЕКА: АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ  
И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Вопрос выявления подлинной исторической ценности зданий, особенно в крупных городах с многовековой историей, в наши дни зачастую бывает нетривиальным. В таком случае, только тщательное обследование первозданных конструкций и изучение сохранившихся в архивах сведений позволяют провести анализ значимости сооружения как памятника архитектуры. На сегодняшний день отсутствуют исследования, направленные на выявление уникальности «Дома Адам» на Почтамтской улице, 12 в г. Санкт-Петербурге.

Настоящее исследование является актуальным для градостроительного сообщества города, поскольку дом расположен в одном из самых первых из исторических районов и формирует ансамбль улицы, выходящей на Исаакиевскую площадь. В структуре Почтамтского переуллка здание является единственным хорошо сохранившимся памятником архитектуры первой трети XIX века. «Дом Адам» – это один из немногих уцелевших образцов доходного дома в стиле безордерного классицизма.

*Целью работы* являлось выявление исторической значимости и архитектурных качеств дома, а также оценка его современного состояния.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: произвести сбор исторических сведений, сделать визуальное обследование, выполнить архитектурный анализ здания и составить заключение об уникальности здания по сохранности фасадов дома, несущих конструкций и интерьеров.

Исследуемое здание расположено в Адмиралтейском районе и входит в ансамбль Почтамтской улицы. Сведения КГИОП предоставляют весьма неполную информацию о здании [1, 2]: время постройки – середина XVIII века, период перестройки – 1836 г. Наименование объекта – «Дом Адам», категория – выявленный объект культурного наследия по приказу председателя КГИОП №15 от 20.02.2001. Вид объекта – памятник. Более подробных сведений, например, об архитекторе, не указано.

По данным форума «CityWalls», здание было построено в середине XVIII в. (автор не установлен), затем – полностью перестроено в 1836 году (автор не установлен) стиль – классицизм [2]. Кроме того, в паспорте на квартиру жильцов, проживающих в наше время в этом здании указано, что действительно, здание было построено в середине XVIII в. – в 1756 году, а последний капитальный ремонт произведен в 1966 году (по документу очевидно, что ключевым нововведением этого периода стала замена перекрытий на железобетонные). Перестройка 1836 года вообще не упоминается, однако даже беглый визуальный осмотр подтверждает соответствие стилистике XIX века. Таким образом, нельзя преуменьшать ценность «Дома Адам» как памятника архитектуры – он обладает почти трехвековой историей и носит отпечатки всех эпох.

Составить более четкую картину жизни дома вплоть до советских времен возможно также на основании архивных документов [2, 3]. В соответствии с выписками из дела, хранящегося в РГАДА, фонд 1239, опись 3, дело 62085 [3, 4], в 1771 году здание было куплено для размещения придворных певчих у архитектора Кнобеля, который, по всей видимости, ранее там проживал. Указывается, что дом был каменный. Христиан Кнобель – архитектор, работавший в Санкт-Петербурге под руководством Растрелли, а при Елизавете Петровне – заведовал обывательской застройкой Петербурга и утверждал проекты частных домов [4, 5]. Таким образом, вероятнее всего, он и являлся архитектором Дома Адама.

В 1810 году придворные певчие переехали на дом на Мойке, и в 1811 здание было продано в собственность Графа Николая Петровича Румянцева. Позднее дом переходил с периодичностью в 10–15 лет к другим частным лицам, и с течением времени только прибавлял в стоимости, что свидетельствует о привлекательности дома для проживания среди высокопоставленных людей, указывает на былую ценность и роскошь дома. Примечательно, что дата перестройки (1836 г., по официальным данным КГИОП [1]) выпадает на период собственности жены Полковника Адама, Корнелии. Факт реновации дома подтверждается увеличением его стоимости почти в два раза всего за 4 года [4, 8]. Это также объясняет и название «Дома Адам» – по фамилии владельца, руководившего перестройкой.

О высокой доходности здания можно судить по его частой перепродаже. Под конец XIX века он переходил из рук в руки купцов, а не чиновников или военнослужащих. Известно, что с осени 1839 года в «Доме Адам» жила с детьми и младшей сестрой вдова А.С. Пушкина Наталия Николаевна. Отмечается, что ее квартира была съемной [3, 7].

О советском периоде из архивной информации известно, что в здании был создан еврейский рабочий клуб «Дер идише Арбайтер», открытию присутствовал Нарком просвещения А. Луначарский [5, 6, 9]. Квартиры дома быстро превращаются в коммунальные.

После комплексного капитального ремонта 1966 года квартиры разукрупняются. Визуальный осмотр интерьеров показал, что перепланировка не вполне обеспечила комфортное проживание жильцов. Например, санузлы в квартире тесные (соотносятся размерами с санузлами в современных новостройках самого низкого ценового сегмента). Перегородки сложены в один пустотелый кирпич, что не обеспечивает необходимой звукоизоляции.

К достоинствам реконструкции 1966 года следует отнести частичное сохранение лестниц. До 2 этажа идут марши одной конструкции – ступени отдельные и сделаны из камня, а после – железобетонные марши и площадки по тетиве. Опираемые марши до 2 этажа – арочные, лестницы широкие, видны следы от срезанных, по всей видимости в советское время, красивых ограждений. Можно заключить, что такая просторная лестница с почти панорамными окнами была парадной, а во времена перестройки добавились марши на более высокие уровни. Также до наших дней дошли в хорошем состоянии сводчатые перекрытия полуподвала.

«Дом Адам» сохранил фасады безордерного классицизма, что прослеживается в характерных признаках:

- 1) симметрия фасадных решений – равенство простенков снаружи и внутри помещений (где не было перепланировки); импосты, наличник и сандрик расположены на одной оси; фасады по Почтамтской улице и Почтамтскому переулку равны по длине и одинаковы по ритму;
- 2) соблюдение пропорций – гармонично подобраны размеры оконных проемов и балюстрады, выдержан размер простенков на фасаде;
- 3) визуальное увеличение высоты здания за счет рустованного 1-го этажа, вытянутых силуэтов окон и наличия карнизов;
- 4) чистота, четкость линий и отсутствие излишних элементов декора – фасад и не перегружен, и не перенасыщен, что решено достаточно грамотно в рамках классицизма; при этом фасады не имеют выступов и западов и прямолинейные в плане;
- 5) декоративные элементы представлены сандриками, подоконными балюстрадами из пилястр, консолями в виде волют, а также основополагающими для классицизма карнизами – цокольным, междуэтажным и венчающим с фризом. Последний украшен растительными орнаментами, в чем перекликается с сандриками на 2-м этаже;
- 6) сохранившиеся исторические перекрытия, стены и своды выполнены из кирпича, характерного для XVIII–XIX веков, что показал осмотр дефектных мест на фасаде и потолков в цокольном этаже.

Благодаря своему статусу памятника архитектуры «Дом Адам» в настоящее время поддерживается в весьма приличном состоянии. Уличная часть фасада в достаточной степени насыщена современными элементами – светофорами, козырьками, креплениями проводов. В местах их крепления, а также рядом с водосточными трубами, наблюдается намокание, заплесневение и растрескивание штукатурного слоя. Заполнение оконных проемов заменено на пластиковое, однако оно согласуется по цвету и расположению импостов с немногочисленными деревянными рамами и потому не портит внешний облик здания.

С Почтамтской улицы предусмотрен въезд во внутренний двор через арку, на пологих сводах которой видны повреждения, нанесённые грузовыми автомобилями. По анализу порогов дверей, уклона в арке, нарушенной гидроизоляции цоколя и закатанных в асфальт колесоотбойных тумб, можно заключить, что дом подвергся нарастанию культурного слоя, и подвальный этаж ранее был первым этажом. В связи с чем необходимо провести работы по гидроизоляции в зоне воздействия осадков. Следует также предотвратить скопление воды в спусках в цокольный этаж.

Фасад, выходящий во внутренний двор, не имеет декоративных элементов и сохранился хуже. Оконные проемы разнотипные, расположены хаотично и на разных отметках, что свидетельствует о многочисленных перестройках, оборудованы даже гаражные ворота на одно машиноместо. Фасад перегружен кондиционерами, разрушается и намокает с обнажением кирпичной кладки. Состояние двора в целом опрятное, аккуратно оформлены газоны. Деревья в хорошем состоянии.

Таким образом, «Дом Адам», как доходный дом, является ценнейшим экземпляром рядовой застройки Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга XIX века, поскольку выдержан в чистом стиле безордерного классицизма, не был надстроен в ходе ремонта и формирует ансамбль Почтамтской улицы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дом Адам // Правительство Санкт-Петербурга/Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры/Государственный реестр – Электронный ресурс [дата обращения 27.12.2023]: [https://kgior.gov.spb.ru/deyatelnost/uchet/list\\_objects/669/](https://kgior.gov.spb.ru/deyatelnost/uchet/list_objects/669/).
2. Дом Адам // CityWalls/Архитектурный сайт Санкт-Петербурга – Электронный ресурс [дата обращения 27.12.2023]: <https://www.citywalls.ru/house4781.html>.
3. Фонд 1239/Опись 3 // Федеральное архивное агентство/Российский государственный архив древних актов – Электронный ресурс [дата обращения 27.12.2023]: [http://rgada.info/poisk/index.php?fund\\_number=1239&fund\\_name=&list\\_number=3&list\\_name=&Sk=30&V1=+++Найти](http://rgada.info/poisk/index.php?fund_number=1239&fund_name=&list_number=3&list_name=&Sk=30&V1=+++Найти).
4. Малиновский К.В., Кнобель К.-Л.-Э./ К. В. Малиновский // Три века Санкт-Петербурга: энциклопедия: в 3 т. / руководитель проекта С. И. Богданов; исп. руководитель проекта Б. В. Ерохин; отв. ред. П. Е. Бухаркин. — 2-е изд., испр. – СПб.: Филологический факультет СПбГУ; М.: Академия, 2003. — Т. 1: Осьмнадцатое столетие, кн. 1: А – М. – С. 469. – 668, [2] с.
5. Романова Н.М. Политика управления национальными процессами в Петрограде и Петроградской губернии: 1917–1923 гг.: (по материалам Петроградского Комиссариата по делам национальностей) / Н. М. Романова. – Санкт-Петербург: Петроцентр, 2013. – С. 275.
6. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activation necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул. экрана.
8. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115-118.
9. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.

ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАРТАЛОВ ЗАСТРОЙКИ

Современные технологии в сфере строительства получили стремительное развитие за последние несколько лет. Трендом сегодняшнего дня является использование искусственного интеллекта, способного ускорить процесс согласования, как одной из самых развивающихся технологий [1].

С развитием городов и увеличением населения важно грамотно планировать городское пространство, что подразумевает реализацию разнообразных проектов, которые должны содержать множество факторов. Человеку трудно предусматривать такое количество информации [2]. Однако, искусственный интеллект может обрабатывать большие объемы данных о городской инфраструктуре, движении транспортных потоков, энергопотреблении и других факторах, которые влияют на жизнь горожан. Анализируя эти данные, нейросети могут предоставлять рекомендации по улучшению городской среды, оптимизации транспортных потоков, а также помочь городским планировщикам принимать обоснованные решения для развития и совершенствования городской инфраструктуры.

Целью данной статьи является оценка программных инструментов с искусственным интеллектом для планирования городской среды на основе определенных критериев.

Программные комплексы, которые далее будет рассматриваться, должны обладать следующими показательными характеристиками:

- использование на конкретной территории, получение информации об окружающей застройке;
- возможность оперативно изменять входящие данные;
- взаимодействие с данными из других открытых источников;
- получаемая аналитика: инсоляция, распределение ветрового потока, микроклимат, анализ инфраструктурной и энергетической нагрузки;
- расчет финансово-экономической эффективности;
- учет целей устойчивого строительства (застройки);
- скорость создания моделей;
- простота использования, легкость понимания интерфейса;
- доступность бесплатного использования;
- наглядность представления (наличие визуального способа предоставить анализ);
- соответствие региональным нормативным документам;
- возможность экспорта в другие программы.

Учёт данных факторов позволит продемонстрировать разницу в функционале анализируемых программ.

Современные методы и программные комплексы для оптимизации проектирования городской среды с учетом использования искусственного интеллекта являются одной из наиболее перспективных областей развития градостроительства [3]. Среди большого разнообразия программного обеспечения существуют решения по планированию территории, основанные на генеративном проектировании. Все описанные далее программы воссоздадут существующую застройку.

Самой простой по своему функционалу является Spacemaker. Она подходит для проектирования на стадии концепции, потому что имеет возможность генерировать застройку по высоте здания, количеству этажей, ширины дороги и расстояния между зданиями. Кроме

того, она позволяет импортировать формы собственного проекта из форматов ifc и obj, умеет выдавать результаты анализа ветрового потока, количества солнечных часов, достаточности дневного света, комфортности пешеходной деятельности, шумности, энергетического расчёта, получения солнечной энергии и затененности. Также есть возможность сохранять несколько вариантов генерации и далее рассматривать их обособленно друг от друга [4].

Программа TestFit – работа американской компании, которая в процессе генерации использует свои шаблоны домов, парков, паркинга, торгового центра и офисов. Кроме формы также генерируются фасады, но изменить их нельзя. Стоит отметить наличие подробного расчёта ТЭП и стоимости прибыли и затрат на строительство, но нет указаний по каким нормативам он происходит. Отсутствует анализ каких-либо параметров как в Spacemaker и специализируется на малых участках застройки, следовательно, не пригодна для моделирования застройки квартала.

Digital Blue Foam преимущественно архитектурно-ориентированный сервис из Сингапура. Основной упор генерации сделан на необычность форм зданий. Есть возможность воссоздать окружающую застройку и проанализировать инсоляцию, ветровой поток и получение солнечной энергии, а также экспортировать в другие программы в формате dxr или stml. Кроме того, разработчики показывают, что их программа может генерировать разновысотные здания, в то время как ранее описываемые ограничиваются только одной высотой [5].

Delve – это программа американской компании Sidewalk Lab. На основе входных данных программа генерирует застройку и выбирает наиболее оптимальный вариант, определение которого происходит в зависимости от приоритетов, задаваемых в качестве входных данных. Также оцениваются доступ к дневному свету для каждого объекта, а не только здания в целом. Есть возможность определить нагрузку электроэнергии, отходов и воды, солнечной энергии, доступ к открытому пространству, шаговая доступность, виды и др. Разработчики утверждают, что проектировщики, использующие их программный продукт, всегда будут знать, что проект соответствует устойчивому развитию и местным стандартам [6].

rTIM – программный продукт отечественного производства компании Rochet Group из Санкт-Петербурга. Это цифровая платформа сквозного информационного моделирования территорий, основанная на технологии сильного искусственного интеллекта и позволяющая смоделировать жизненный цикл проекта в один клик. Есть возможность проанализировать инсоляцию, расчёт социальной нагрузки, зонирование территории, подключение к инженерным сетям, сроки и порядок строительства, финансово-экономическую модель. Основным преимуществом данного продукта является наличие нормативно-правовой базы, применяемой на территории России [7]. Сравнительный анализ программных комплексов сведен в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ программных комплексов с искусственным интеллектом для генерации городской среды

Наименование критерия оценки	Spacemaker	TestFit	Digital Blue Foam	Delve	rTIM
Страна производства	США	США	Сингапур	США	Россия
Применимость для определенной территории, то есть рельеф местности и окружающая застройка.	+	+	+	+	+
Возможность быстро изменять входящие данные.	+	+	+	+	+
Взаимодействие с данными из других открытых источников.	+	+	+	+	+



Продолжение таблицы 1

Наименование	Spacemaker	TestFit	Digital Blue Foam	Delve	rTIM
Получаемая аналитика: инсоляция, распределение ветрового потока, изображение розы ветров, микроклимат, определение показателей экологии, анализ инфраструктурной и энергетической нагрузки.	+	-	+	+	+
Расчет финансово-экономической эффективности.	-	+	-	-	+
Учет целей устойчивого строительства (застройки).	-	-	-	+	+
Простота использования, легкость понимания интерфейса.	+	-	+	-	+
Доступность бесплатного использования.	+	+	-	-	-
Наглядность представления (наличие графиков, визуального способа предоставить анализ).	+	-	+	+	+
Соответствие региональных нормативных документов.	-	-	-	+	+
Возможности экспорта в другие программы.	+	-	+	-	+
Итого:	8/11	5/11	7/11	7/11	10/11

В результате сравнительного анализа с учетом данных таблицы 1, можно сделать вывод о том, что отечественный комплекс rTIM является самой перспективной программой для использования её в рамках комплексного развития территории. Она имеет ряд преимуществ, в частности: наличие нормативной базы для конкретного района строительства, наглядность представления, отсутствие некорректного перевода, так как используемый язык – русский, а также возможность учитывать цели устойчивого развития.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Власова Е.Л., Власова М.Л., Боровикова Н.В., Карелин Д.В. Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании // АМИТ. 2023. №4 (65). URL: <https://clck.ru/398SkD> (дата обращения: 15.02.2024).
2. Михайлов А. Нейросети в архитектуре / Михайлов А. [Электронный ресурс] // Строительная газета: [сайт]. — URL: <https://stroygaz.ru/publication/architecture/neyroseti-v-arkhitecture/> (дата обращения: 15.02.2024).
3. Колобаев М. Две головы хорошо, а AI — лучше: основные процессы строительного проектирования уже к 2030 году сможет выполнять искусственный интеллект / Колобаев М. [Электронный ресурс] // DIGITAL DEVELOPER : [сайт]. — URL: <https://clck.ru/398SnD> (дата обращения: 15.02.2024).
4. Autodesk Forma: Cloud-based software for early-stage planning and design / [Электронный ресурс] // AUTODESK : [сайт]. — URL: <https://clck.ru/398Sow> дата обращения: 17.02.2024).
5. Delve. Discover Radically Better Design / [Электронный ресурс] // SIDEWALK LAB. Part of Google : [сайт]. — URL: <https://www.sidewalklabs.com/products/delve> (дата обращения: 17.02.2024).
6. AI-Powered Planning and Design, for Better Project Delivery and Urban Developments / [Электронный ресурс] // DBF : [сайт]. — URL: <https://www.digitalbluefoam.com/> (дата обращения: 17.02.2024).
7. rTIM Платформа для генерации территориального развития ITMO + RocketGroup / [Электронный ресурс] // YouTube : [сайт]. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=nFpRk2mz5kA> (дата обращения: 18.02.2024).

## ИСЛАМСКИЕ САДЫ: ТИПИЗАЦИЯ И ПРИЁМЫ ФОРМИРОВАНИЯ

*Актуальность.* Интенсивное развитие стран «глобального юга» подразумевает большую открытость культурной составляющей стран, имеющих многовековую самобытную традицию. Нет сомнения, что одной из важных составляющих культуры Азии, Европы и севера Африки является исламская культура.

Наряду с хорошо изученными архитектурой, литературой, философией исламских стран, остаются многочисленные «тёмные пятна». К ним, по мнению авторов, относятся зелёные массивы, созданные мастерами, исповедующими ислам, и малоизвестные европейским ценителям ландшафтного искусства.

*Целью работы* является создание предпосылок для предварительного ознакомления с историей, семантикой и приёмами формирования садов.

Для достижения поставленной цели, необходимо решение следующих задач:

1. Краткое изложение истории исламских садов и их идеологической составляющей;
2. Предложения по классификации исламских садов;
3. Предварительное перечисление основных приёмов формирования исламских садов.

Исламские сады возникли в 7-м веке, и, в дальнейшем, развивались в соответствии с культурой и традициями различных народов, исповедующих ислам. Они стали уникальным ландшафтным искусством из-за особенностей религии, климата и географических условий (климат, почва и т.п.). Исламские сады всегда воспринимались как олицетворение рая и создавались для комфортного и утончённого досуга.

Термин «Исламский сад» впервые появился в эпоху исламизации Ирана в седьмом веке. Утверждается, что иранский сад является основой для исламских садов Великих Моголов в Кашмире, а также в Альгамбре и Хенералифе на юге Испании. Исламский сад продвигает концепцию простоты, и поэтому смысл исламского сада хорошо понятен в современном мире [1].

С самого начала своего существования иранские сады служили местом отдыха, размышлений и расслабления для тех, кто искал что-то значимое, а не суету и развлечения городского мира. Под руководством исламских правителей были созданы значительные исламские сады в Западной Азии (Иран, Турция и Аравийский полуостров), Юго-Восточной Азии (Индия, Пакистан, Кашмир, Узбекистан и Афганистан), Ближнем Востоке (Сирия, Ливан, Ирак, Палестина, Египет, Марокко и Тунис) и Европе (Гранада, Кордова, Севилья и Толедо).

Приведенная ниже хронология (рис.1) показывает развитие исламских садов на протяжении веков и их влияние на мировое архитектурное искусство:

Постепенно сады появляются во многих мусульманских сообществах и развиваются на протяжении всей истории исламской цивилизации. Они стали свидетелями бума урбанизации и интенсивного развития стилей ландшафтной архитектуры. Функции садов развивались и расширялись, а также добавились новые функции. Однако, наиболее важной из функций, сохраняющих свою значимость на протяжении столетий, является возможность уединения хозяина сада и проведения конфиденциальных собраний.

Некоторые исследователи исламских садов отмечают, что сады относятся к двум основным типам, которые имеют общие ландшафтные признаки, но различаются по размерам и применению. Первый тип – это сады во внутренних дворах домов и рядовых мечетей. Сады при дворцах и особо почитаемых святынях являются вторым типом. Они больше по размеру и роскошнее.

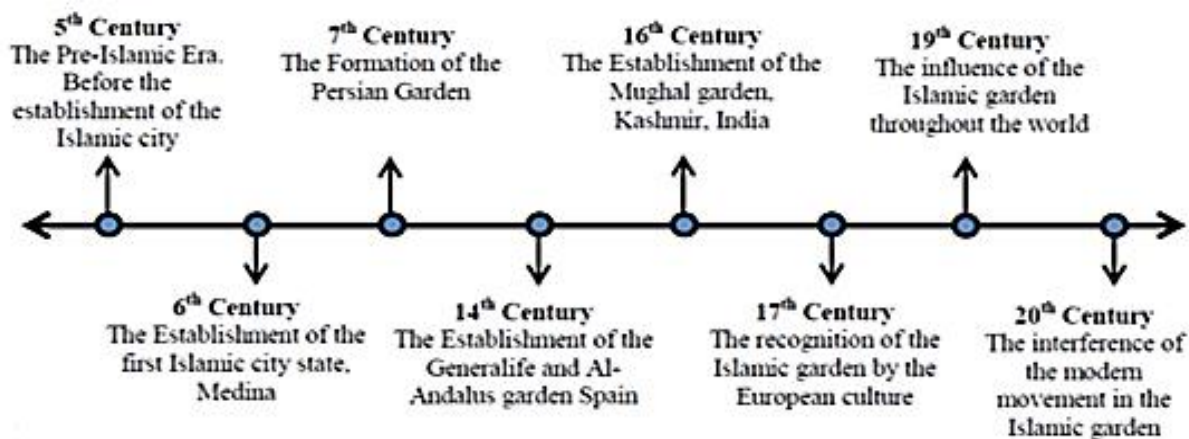


Рис. 1. Хронология развития исламских садов и их влияния на европейское садово-парковое искусство

Разница между двумя типами садов вызывает большие споры среди исследователей. Однако, все сходится на том, что сады оба вида исламских садов в плане имеют форму прямоугольника (символизирует стабильность), могут быть слабо террасированными, иногда зонированы, замкнуты оградой или постройками, доминантой являются фонтаны [1–3].

Авторы считают, что исламские сады можно разделить на три типа:

1. Сады во внутреннем дворе. Использование внутреннего двора было распространено еще до ислама в большинстве доисламских цивилизаций на Ближнем Востоке. Этот тип был реализован в строительстве культовых зданий Египта и Месопотамии, а также в греческих, римских и персидских цивилизациях. Похоже, это связано с тем, что постройки, окружающие двор, хорошо защищают внутреннее пространство от ветрового воздействия [4–6].

2. Большие сады. Этот тип садов начал появляться в позднем исламском периоде, особенно в Иране и в Империи Великих Моголов. В этих странах появилась возможность сады увеличивать в размерах и выводить их за рамки внутренних дворов. Ограничение сада от окружающих территорий реализуется только более или менее высокой оградой. Здания становились менее масштабными, иногда располагались в центре сада. Сады перестают быть частью дома. Во многих больших садах становится возможным проведение религиозных обрядов и народных праздников [4–6].

3. Города-сады. Этот стиль городского планирования появился в поздний исламский период, и одним из наиболее важных его примеров является город Исфахан в Иране. Его первоначальная планировка всё еще прослеживается, несмотря на изменения, внесенные в нее в последующие периоды. Возможно, город Исфахан не был отдельным частным случаем с точки зрения планировки сада. Подобная планировка повторяется, по крайней мере, ещё в одном исламском городе. Это Ахмадабад, построенный султаном Великих Моголов Ахмад Шахом в 1411 г. Теперь это столица индийской провинции Гуджарат.

Основными приёмами формирования исламских садов можно считать:

1. Огражденность. Исламские сады обычно представляли собой замкнутую территорию. Небольшие сады были окружены частично постройками, частично заборами. Большие сады имели заборы, которые закрывали сад со всех сторон [3].

2. Зонирование территории сада. Многие сады исламских общин, особенно сады Великих Моголов в Кашмире, были построены поэтапно. На каждом этапе новая часть сада обретала функции, отличные от функций частей, созданных ранее. Сад Ашбал в Кашмире является примером садов, где зонирование использовалось для разделения разных категорий пользователей [3]. Использование павильонов: Дизайнеры в исламских обществах

использовали деревянные или каменные беседки в центральных точках сада, чтобы люди, находящиеся внутри павильона, могли наблюдать за тем, что происходит вокруг, в то же время оставаясь невидимыми снаружи. Лёгкие и изящные конструкции павильонов прекрасно защищали от солнца и горячего ветра.

3. Тени. Использование теней и регулирование количества света, падающего на внутренние дворы, являются одними из наиболее важных элементов, используемых мусульманами при создании своих садов в суровых пустынных условиях, окружающих большинство исламских поселений.

4. Проточная вода. Использование проточной воды в садах продолжалось на всём протяжении исламской цивилизации. Фонтаны были во внутренних двориках небольших домов, во дворах мечетей, медресе, караван-сараев и дворцов. Фонтан мог иметь в плане форму: квадрат, прямоугольник, шестиугольник, круг, восьмиугольник, звезда, образованная наложением двух квадратов.

5. Растения. Среди деревьев, используемых мусульманами, наиболее крупными являлись кипарисы. Во дворах мечетей разбивались апельсиновые сады. Вдоль каналов высаживались мирты. Для иранских садов характерны сортовые лилии, розы, гвоздики и тюльпаны [7–9].

6. Орнаментальные мотивы (арабески). Мусульмане часто украшали стены, ограничивающие сад, и павильоны геометрическими и растительными орнаментами. Использовались каллиграфически выполненные изречения из Корана. Напольные покрытия имели только геометрический орнамент, идеально подчёркивающий структуру помещения или открытого пространства.

#### *Выводы*

Исламские сады представляют собой не только физические пространства; они представляют собой философский и духовный подход к окружающей среде. Они представляют собой подобие рая на Земле, где люди празднуют и наслаждаются красотой природы. Сады способствуют глубокому чувству спокойствия и гармонии с миром природы, а также служат местами для самососредоточения, молитвы и расслабления.

Кроме того, эти сады часто показывают культурный и исторический контекст, в котором они были построены, показывая изобретательность и художественное мастерство исламских цивилизаций.

В целом, исламские сады представляют собой символ духовных и культурных ценностей исламских обществ, а также образец прекрасных антропоморфных ландшафтов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. The Islamic Garden Today. West Looks East: The Influence of Traditional Arab Design on contemporary Western Designer, Retrieved from, [http://www.mosaicfound.org/sc/cultural\\_media/wle\\_Haaga\\_bio](http://www.mosaicfound.org/sc/cultural_media/wle_Haaga_bio), 2005.
2. Ranguelov R. Developments in Engineering and Architecture., Sofia, 2021.
3. Lehrman J.V. Earthly paradise: garden and courtyard in Islam, Univ of California Press, 1980.
4. Сокольская О.Б. История садово-паркового искусства, М., ИНФРА-М, 2004.
5. Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М., ВО Агропромиздат, 1988.
6. Ожегов С.С. История ландшафтной архитектуры, М. Архитектура-С, 2004.
7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
9. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115-118.
10. Тысяча и одна ночь. В 12 т. Том 9. История жемчужного пучка, СПб, СЗКЭО, 2022, 352 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ ПАВИЛЬОНОВ  
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

*Цель работы* – анализ применяемых строительных материалов для сооружения павильонов остановок общественного транспорта.

Остановочные павильоны общественного транспорта являются неотъемлемой частью городской инфраструктуры и играют важную роль в обеспечении комфорта и удобства для пассажиров. Более того остановочные павильоны являются неотъемлемой и важной частью городского облика.

Проектирование остановочных павильонов с использованием современных строительных материалов может значительно повысить их функциональность, эстетическую привлекательность и устойчивость к внешним воздействиям [1–3]. В данной статье рассмотрим различные современные строительные материалы и их потенциал для применения в проектировании остановочных павильонов, с учетом их преимуществ и недостатков.

Рассмотрим строительные материалы, их достоинства и недостатки (таблица 1).

Таблица 1 – Достоинства и недостатки используемых строительных материалов

Материал	Применение	Достоинства	Недостатки
Бетон	Каркас Ограждающие конструкции	Стойкость к атмосферным воздействиям Низкая воспламеняемость	Эстетическая непривлекательность Большой вес конструкции Высокий уровень теплопроводности Трудоемкость при возведении конструкции
Дерево	Каркас Ограждающие конструкции Крыша	Натуральность и экологичность Эстетическая привлекательность Легкость конструкции Пластичность и упругость	Низкая антивандальность Низкая стойкость к атмосферным воздействиям Высокая воспламеняемость Высокая стоимость
Металл	Каркас Ограждающие конструкции Крыша	Стойкость к атмосферным воздействиям	Эстетическая непривлекательность Низкая огнестойкость
Стекло	Ограждающие конструкции Крыша	Высокое светопропускание Стойкость к атмосферным воздействиям	Низкая антивандальность Низкая ударостойкость Высокая стоимость
Полимерные материалы (поликарбонат)	Ограждающие конструкции Крыша	Ударостойкость Стойкость к атмосферным воздействиям Низкая воспламеняемость Гибкость в холодном состоянии Высокое светопропускание Широкая цветовая гамма	Недостаточная абразивная стойкость

Можно сделать вывод, что традиционные материалы, такие как металл и бетон, имеют ряд недостатков, включая высокую стоимость, тяжесть и ограниченные возможности по дизайну. Павильоны, выполненные из дерева и стекла, имеют низкую стойкость от вандализма. Они требуют регулярного обслуживания и защиты от внешних воздействий.

В последние годы все большее внимание уделяется применению полимерных и композитных строительных материалов в строительстве [4–6]. Такие материалы предлагают новые возможности в проектировании и строительстве, обеспечивая прочность, легкость, долговечность и эстетическую привлекательность. Полимерные материалы, такие как стеклопластик и поликарбонат, обладают высокой прочностью и устойчивостью к воздействию окружающей среды. Стеклопластик, например, предлагает прочность и легкость в сочетании с отличной устойчивостью к различным атмосферным условиям. Поликарбонат является прозрачным материалом, который позволяет создавать яркий и привлекательный дизайн.

В зарубежной практике также рассматриваются альтернативные материалы для отделки остановочных павильонов, но таких примеров удалось найти не много. Например, использование клееного бамбука и древесины при строительстве остановок в Бразилии [3], позволяющих создать гибкую форму павильона, а также уменьшить негативное экологическое влияние на городскую среду. Павильон, построенный в Германии в 2014 году, стал примером использования в качестве строительного материала полимера, армированного стекловолокном и углеродным волокном [7–9].

Использование современных строительных материалов предоставляет возможность создания инновационных и устойчивых остановочных павильонов общественного транспорта. Они могут улучшить комфорт и визуальную привлекательность, а также обеспечить долговечность и эффективность павильонов. Дальнейшие исследования и разработки в этой области помогут совершенствовать конструкцию и функциональность остановочных павильонов общественного транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Nadov O Rader. Sustainable Bus Stop: Design & Pre-Construction [Электронный ресурс] // CalPoly. – 2021. – URL: <https://digitalcommons.calpoly.edu/cmisp/444/> (Дата обращения 05.03.2024).
2. «О применении поликарбоната в строительстве» [Электронный ресурс] // SafPlast. – 2008. – URL: <https://safplast.ru/support/book-polikarbonat/> (Дата обращения 05.03.2024).
3. Marina da A. Patury, Jaime G. de Almedia, Vanda A. G Zanoni. A Bus Stop: Industrialized Construction in Glued Laminated Bamboo and Timber (Flex Material) [Электронный ресурс] // Non-Conventional Materials and Technologies: NOCMAT for the XXI Century. – 2018. – URL: <https://www.mrforum.com/product/nocmat/> (Дата обращения 05.03.2024).
4. Icd Itke. Carbon-fibre pavilion based on beetle shells [Электронный ресурс] // Metalocus. – 2014. – URL: <https://www.metalocus.es/en/news/icd-itke-carbon-fibre-pavilion-based-beetle-shells> (Дата обращения 05.03.2024).
5. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elibr.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
6. Васильев А.С., Латина С.В. Необходимость автоматизации проектирования состава тяжёлых бетонов / Современные наукоемкие технологии. 2013. № 7-1. С. 59а.
7. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activation necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
8. Глушакова Ю.С., Латина С.В. Методы расчёта железобетонных конструкций. / Современные наукоемкие технологии. 2013. № 7-1. С. 59.
9. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115-118.

## КОНЦЕПЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЯСОКОМБИНАТА «САМСОН»

*Актуальность.* Комплекс зданий мясокомбината «Самсон», расположенный в Московском районе города Санкт-Петербург, является выявленным объектом культурного наследия, представляющим историческую и художественную ценность. Однако на данный момент здания бывшего предприятия не используются по своему функциональному назначению, а большая часть из них являются заброшенными и подвержены разрушению. В связи с этим необходимо перепрофилировать данный объект под исполнение новых функций, актуальных для современных жителей города [1].

*Цель работы* – предложить концепцию приспособления зданий мясокомбината «Самсон» под современное использование.

В стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года [2] поставлена задача повышения стремления детей и молодежи к новым знаниям, а также формирование среды для поддержки и развития их талантов и способностей. В рамках данной задачи необходимо создание современных творческих и научных центров для комфортного и качественного времяпрепровождения молодых людей. Одной из немаловажных задач является «Развитие креативных индустрий» и создание пространств для взаимодействия и поддержки представителей творческих направлений, а именно выставочных залов, студий и мастерских.

Одним из мероприятий, направленных на решение поставленных задач, может стать создание многофункционального общественного пространства на базе бывшего мясокомбината «Самсон», объединяющего в себе культурный центр для проведения выставок и лекций, а также молодежный и деловой центр. Подобное пространство поможет объединить представителей различных творческих и научных индустрий и обеспечить комфортную среду для их взаимодействия [3].

В Санкт-Петербурге насчитывается более 60 общественных пространств, большинство из которых располагается в центральных районах города [4]. Для определения возможности перепрофилирования объекта исследования в многофункциональный центр была создана схема местоположения существующих общественных пространств и культурных центров (рис. 1).



Рис. 1. Схема местоположения существующих общественных пространств и культурных центров

Ближайшим к объекту культурным центром является центр «Пулковец», располагающийся на расстоянии 2,1 км от исследуемой территории. Общественных пространств в данном районе нет. В пешей доступности (500 м) от территории мясокомбината не расположено ни одного объекта

рассматриваемого функционального назначения, в связи с чем общественное пространство на базе бывшего мясокомбината «Самсон» станет новой точкой притяжения Московского района Санкт-Петербурга, способствующей его социальному и экономическому развитию, а также формированию нового культурного образа территории [5].

Территория мясокомбината «Самсон» граничит с объектами многоэтажной жилой застройки и с участками, на которых в ближайшее время планируется строительство нового жилья [6, 7] (рис. 2). Жителями таких жилых комплексов зачастую являются молодые люди и семьи с детьми, которые представляют целевую аудиторию культурных и общественных пространств.

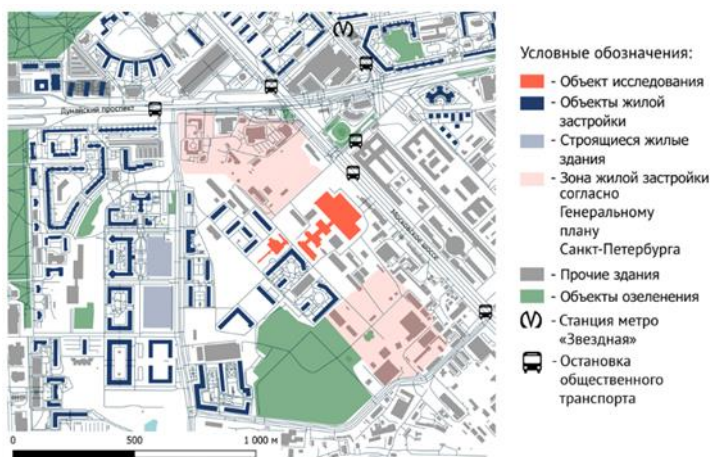


Рис. 2. Объекты городской застройки, граничащие с территорией мясокомбината «Самсон»

Таким образом, отсутствие в ближайшем расположении объектов аналогичного назначения, нахождение в шаговой доступности от жилой застройки, а также расположение вдоль крупной транспортной магистрали (Московского шоссе), хорошая транспортная доступность являются выгодным фактором для перепрофилирования мясокомбината «Самсон» в многофункциональный культурный и деловой центр.

Основной концепцией перепрофилирования здания мясокомбината является создание единого центра культуры и досуга для

всей семьи, объединяющего поколения и способствующего развитию творческого и исследовательского потенциала посетителей. На территории мясокомбината располагается три производственных корпуса общей площадью 131 800 м<sup>2</sup>, соединенных надземными переходами, а также здание ТЭЦ. Проект предполагает приспособление каждого корпуса под разные функциональные назначения (рис. 3) [8, 9].



Рис. 3. Функциональное назначение корпусов мясокомбината после реконструкции

Корпус под литерой АЕ является самым большим зданием комплекса, представляющим собой пятиэтажное строение, архитектурной доминантой которого является водонапорная башня высотой около 42 м. Проектом предусматривается перепрофилирование корпуса под культурный центр, объединяющий в себе выставочные залы, лектории, арт-галереи, библиотеку и кинозал для показа образовательных фильмов. Обширная площадь здания в плане дает возможность организации просторных залов, вмещающих большое количество посетителей. На вершине водонапорной башни может быть организована смотровая площадка.



Производственный корпус под литерой АЖ состоит из двух шестиэтажных зданий, соединенных надземным переходом в уровне 4, 5 и 6 этажей. В стенах корпуса предполагается расположение досугового центра для детей и молодежи. В одном из зданий предусматривается организация кружков и секций для детей дошкольного и младшего школьного возраста, танцевальных залов и студий. В другом здании будут находиться творческие мастерские и студии для молодежи, объединяющие посетителей центра на основе их увлечений и хобби. Обширное наружное остекление зданий и обилие естественного освещения помещений будет способствовать поддержанию творческой атмосферы и созданию комфортной среды для креативного взаимодействия молодых людей.

Корпус под литерой АИ представляет собой семиэтажное здание, конфигурация которого является наиболее благоприятной для создания в нем делового центра с размещением офисных помещений. На первых трех этажах проектом предусматривается организация зоны коворкинга. Посетителями данного пространства могут стать индивидуальные предприниматели, не имеющие постоянного офиса, а также фрилансеры и люди, имеющие удаленную работу, что становится достаточно популярным в последнее время. Остальные этажи займут арендуемые офисные помещения.

Здание ТЭЦ под литерой ВМ представляет собой сложное по конфигурации строение, основную часть которого занимает многосветное пространство высотой 15 метров. Такая планировка является благоприятной для создания многоуровневого выставочного зала современного искусства с надземными галереями и переходами. Внушительное наружное остекление создаст дополнительную игру света в помещении для особой атмосферы на выставках.

*Выводы.* Перепрофилирование зданий бывшего мясокомбината «Самсон» под многофункциональное общественное пространство является оптимальным способом приспособления выявленного объекта культурного наследия под современное использование. Такая концепция отвечает современным запросам города и способствует социальному взаимодействию его жителей, налаживанию творческих связей и развитию их креативного потенциала.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бердюгина Ю.М. Критерии приспособления объекта культурного наследия для современного использования / Ю.М. Бердюгина // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2018. – № 1(36). – С. 47–51.
2. Закон Санкт-Петербурга от 19.12.2018 N 771-164 «О стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/551979680/> – (Дата обращения 29.02.2024).
3. Почтовая А.В. Общественные пространства в структуре инновационных центров / А. В. Почтовая // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 4(64). – С. 101–105.
4. Общественные пространства Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://public.spb.ru/> – (Дата обращения 29.02.2024).
5. Захарова Е.Е. Культурная среда города как часть общественного пространства / Е. Е. Захарова // Человек и культура. – 2020. – № 1. – С. 73–80. – DOI 10.25136/2409-8744.2020.1.32171.
6. Генеральный план Санкт-Петербурга (2023 год). Комитет по градостроительству и архитектуре [Электронный ресурс]. URL: <https://kgainfo.spb.ru/genplan2023/> – (Дата обращения 29.02.2024).
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
9. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115–118.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОЗЕЛЕНЕНИЕМ  
ЖИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Задача градостроителя – поиск решений по формированию комфортной городской среды. Для определения ее качества существуют специальные метрики, выражающие уровень комфорта городской среды. Один из важных параметров такой оценки – количество зеленых насаждений, приходящихся на одного жителя. Цель данного исследования заключается в усовершенствовании текущей оценочной методики.

Комфортность городской среды зависит от множества групп факторов градостроительного, экологического, экономического, социального и других. Одним из компонентов повышения комфортности городской среды является формирование непрерывной системы озелененных территорий [5, 6]. Объектами такой системы являются территории зеленых насаждений общего, ограниченного пользования и специального назначения. Также иногда отдельно выделяют резерв озеленения.

К общему пользованию относят – парки, сады, скверы, бульвары, набережные. Под объектами ограниченного пользования подразумевается озеленение детских дошкольных учреждений и школ; культурно-просветительных учреждений. К специальному назначению относят – озеленение вдоль дорог и улиц; насаждение кладбищ; питомников, озеленение на участках санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий.

Рассмотрим существующую для оценки качества городской среды методику оценки [4, 7], предназначенную для определения количественного показателя комфорта проживания в том или ином населенном пункте. В отношении озеленения в данной методике оценки учитывается как доля озелененных территорий в структуре населённого пункта и доля озелененных территорий общего пользования в общей системе озеленения, так и берутся во внимание состояние зеленых насаждений и доступность объектов зеленых насаждений для граждан.

Согласно существующей методике оценки обеспеченности населения зелеными насаждениями, принятой в Санкт-Петербурге в 2010 году [2], оценку обеспеченности осуществляют по результатам расчета показателя  $P_{об}$ , определяемого по формуле:

$$P_{об} = \frac{S_{ЗНОП\ гор.зн.} + S_{ЗНОП\ мест.зн.} + S_{огр.} + S_{рез.}}{N}, \quad (1)$$

где  $S_{ЗНОП\ гор.зн.}$  – площадь территории зеленых насаждений общего пользования городского значения,  $m^2$ ;  $S_{ЗНОП\ мест.зн.}$  – площадь территории зеленых насаждений общего пользования местного значения,  $m^2$ ;  $S_{огр.}$  – площадь территории зеленых насаждений ограниченного пользования,  $m^2$ ;  $S_{рез.}$  – площадь территории зеленых насаждений, определенной в качестве резерва озеленения,  $m^2$ ;  $N$  – численность населения района, чел.

При анализе данной методики и сравнении ее с [4] можно выделить ряд недостатков, снижающих объективность результатов оценки:

- в расчете используются площади не только общего пользования, но и те территории, доступ к которым может быть затруднен для рядового жителя;
- не учитывается состояние зеленых насаждений;
- не учитывается наличие дорожно-тропиночной сети;
- расчет производится для слишком большой и неоднородной по составу площади, размер некоторых районов Санкт-Петербурга сопоставим с площадями других городов.

Для оценки состояния зеленых насаждений существует специально разработанная

методика [3, 8], регулирующая как полевую часть процесса (состав и последовательность измерений), так и аналитическую часть (обработка измерений, анализ результатов).

Состояние объекта озеленения, согласно данной методике, определяется по ККЭО (коэффициенту комплексной экологической оценки) и изменяется от 1,0 при идеальном состоянии насаждений до 3,0 при неудовлетворительном состоянии насаждений.

Предлагаемый способ учета состояния насаждений подразумевает определение поправочного коэффициента при использовании коэффициента комплексной экологической оценки (ККЭО), а именно расчет обратного для ККЭО значения:

$$K_{\text{ККЭО}} = \frac{1}{\text{ККЭО}} \quad (2)$$

При расчете по данной формуле при идеальном состоянии насаждений (ККЭО от 1,00 до 1,49) значение поправочного коэффициента будет располагаться в диапазоне от 1 до 0,67 соответственно ( $1/1,49 \approx 0,67$ ). Данные для всех состояний указаны в таблице 1.

Таблица 1

Состояние насаждений (ККЭО)	Значение поправочного коэффициента
Идеальное (от 1,00 до 1,49)	От 1 до 0,67
Хорошее (от 1,50 до 1,99)	От 0,66 до 0,49
Удовлетворительное (от 2,00 до 2,49)	От 0,50 до 0,41
Неудовлетворительное (от 2,50 до 3,00)	От 0,40 до 0,33

При таком способе учета состояния зеленых насаждений будет считаться, что насаждения, находящиеся в идеальном состоянии, приносят от 100% пользы (при значении ККЭО равном 1) до 67% (при ККЭО равном 1,49), то есть ценность таких насаждений всегда более  $2/3$ , и наоборот при неудовлетворительном состоянии насаждений их ценность (биопродуктивность) может доходить вплоть до 33%, то есть насаждения «работают» лишь на одну треть от своих максимальных возможностей.

Теперь рассмотрим способ учета благоустройства в структуре объекта озеленения, так как в большинстве случаев процент насаждений принимается за 100. Рассмотрим объект зеленых насаждений общего пользования, находящийся в Фрунзенском районе Санкт-Петербурга под номером 17090.

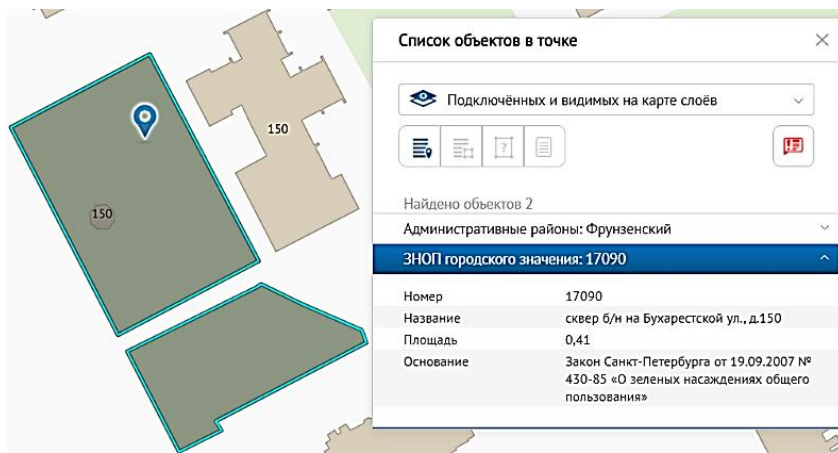


Рис. 1. Объект озеленения в РГИС

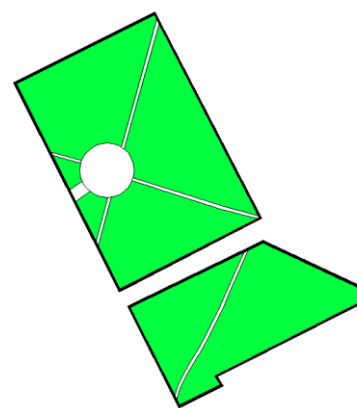


Рис. 2. Уточненная схема

На рисунке 1 приведен фрагмент из региональной геоинформационной системы Санкт-Петербурга, на котором отображен объект озеленения, состоящий из двух полигонов. При этом если воспользоваться открытыми картографическими сервисами, то можно будет получить более точную планировку, по результатам анализа которой был выявлен процент

озеленения сквера равный 81,6. На рисунке 2 отображена действительная планировочная схема данного объекта озеленения.

Очевидно, что не всегда отклонения от 100% столь существенны и можно сказать о допустимости пренебрежения такими «неточностями», забыв о роли таких «неточностей» в масштабах района и тем более города. Способ учета процента озеленения заключается в переводе доли, занимаемой насаждениями, из процентов в абсолютное значение и использование этого значения как коэффициента для корректировки площадей озеленения.

Чтобы учесть фактор неоднородности территорий населенных пунктов и, в частности, Санкт-Петербурга, то предлагается вместо определения общей по району обеспеченности зелеными насаждениями производить расчет по муниципальным округам, что и позволит выделить неравномерность расположения объектов озеленения по территории района, при которой не выполняются требования доступности объектов рекреации, расстояния до которых нормированы и для парка не должны превышать 1200 м, для скверов – 400 м, сада – 600 м [1, 9].

Итак, в ходе исследования были выявлены недостатки существующей методики оценки озеленением жителей Санкт-Петербурга, искажающие действительную ситуацию с озеленением в городе. Необходимость доработки состоит в учете качества и количества зеленых насаждений в структуре объектов озеленения и их пространственного положения относительно основных селитебных зон Санкт-Петербурга.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Брасалес, Э. Д. Функциональная модель оценки рекреационного потенциала городских зеленых территорий с использованием геоинформационных технологий / Э. Д. Брасалес, И. С. Королева // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 3–11. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41722866> (дата обращения: 18.02.2024).
2. О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге: Закон Санкт-Петербурга от 28.06.2010 № 396-88 (ред. от 29 июня 2023 года) // Docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/891832426> (дата обращения: 22.02.2024).
3. Об утверждении Методики оценки экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга: Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга от 03.02.2021 № 17-р (ред. от 23 марта 2022 года) // Docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573573186> (дата обращения: 24.02.2024).
4. Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды: Распоряжение Правительства РФ от 23.03.2019 № 510-р (ред. от 20 сентября 2023 года) // Docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/553937399> (дата обращения: 25.02.2024).
5. Прокопенко В.В. Система озелененных территорий как индикатор качества городской среды / В.В. Прокопенко, А.А. Тисленко // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сборник трудов Международной научно-практической конференции : в 2 ч., Волгоград, Часть 2. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2021. – С. 95–100. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48014349> (дата обращения: 26.02.2024).
6. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
9. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115–118.

ВИДЫ РЕЕСТРОВЫХ ОШИБОК В МЕСТОПОЛОЖЕНИИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ  
И ВАРИАНТЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

*Цель работы* – выбор оптимального метода решения для устранения реестровых ошибок.

Для достижения поставленной цели необходимо получить данные от собственника земельного участка, заказать дополнительные данные из архива Росреестра, затем проанализировать полученные данные. В процессе выполнения работ могут встречаться ошибки, о которых собственник даже и не подозревает.

Классификация встречающихся реестровых ошибок:

1. Полное наложение одного земельного участка на другой. Наиболее редко встречающаяся

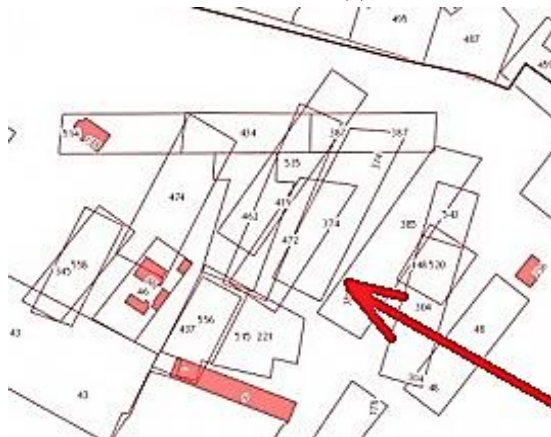


Рис. 1. Полное наложение одного земельного участка на другой

ошибка, характеризующаяся практически полным наложением одного участка на другой, при котором единственное различие было обнаружено в одной цифре кадастрового номера кадастрового квартала. Ошибка была допущена регистратором Росреестра при внесении данных. Сложность исправления заключается в том, что участки, имеющие по картографическим материалам общую границу, за время пока исправляемый участок не находился на своём месте, «залезли» границами на его земельный участок, при этом значительно уменьшив площадь земельного участка (вместо 1200 осталось 1000 м<sup>2</sup>). Проблема оказалась комплексной и потребовалось решение через суд [1, 2].

Этапы работ при устранении реестровых ошибок:

- изучение документов полученных от заказчика работ;
- заказ материалов землеустройства с Росреестра;
- кадастровая съёмка границ земельных участков;
- подготовка межевых дел на исправляемые земельные участки;

2. Неправильно определены координаты земельного участка. Не часто встречающаяся

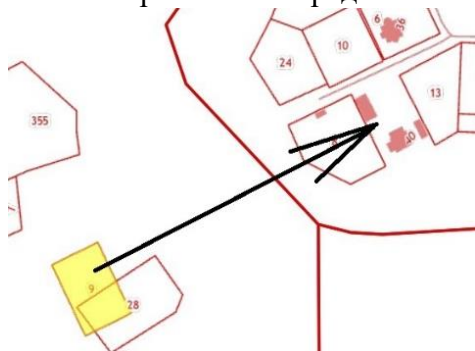


Рис. 2. Неправильно определены координаты земельного участка

ошибка, характеризуется тем, что были неверно определены координаты земельного участка при проведении кадастровых работ, в связи с этим земельный участок на публичной кадастровой карте отображается находящимся в значительной стороне от своего фактического местоположения. Проблема решается замером координат земельного участка на месте своего фактического местоположения и исправлением ошибки через изменение координат в межевом деле [3, 4]. Сложности могут возникнуть с соседями аналогично п. 1.

3. Поворот земельного участка на произвольный угол относительно его фактического местоположения. Не часто встречающаяся ошибка характеризуется тем, что были неверно определены координаты земельного участка при проведении кадастровых работ, в связи с этим земельный участок на публичной кадастровой карте отображается повернутым на произвольный угол относительно своей оси. Проблема решается замером координат земельного участка на месте своего фактического местоположения и исправлением ошибки через изменение координат в межевом деле [5, 6]. Сложности могут возникнуть с соседями аналогично п. 1.

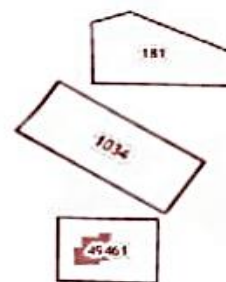


Рис. 3. Поворот земельного участка на произвольный угол относительно его фактического местоположения

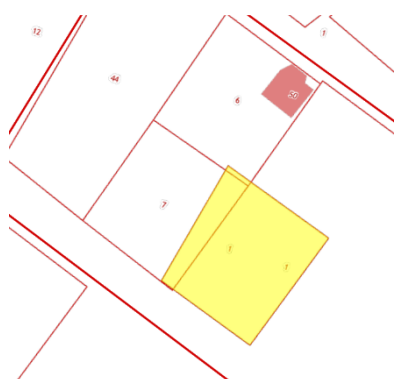


Рис. 4. Частичное наложение одного участка на другой

4. Частичное наложение одного участка на другой.

Варианты возникновения ошибки. Были неверно определены координаты земельного участка при проведении кадастровых работ. В итоге земельный участок на публичной кадастровой карте отображается пересекающимся с каким-либо соседним участком. Проблема решается замером координат земельного участка на месте своего фактического местоположения и исправлением ошибки через изменение координат в межевом деле. Сложности могут возникнуть с соседями по причине того, что собственники соседнего участка возвели какое-либо сооружение или ограждение, которая теперь оспаривается [7, 8]. Или если есть постройки, которые попали в спорную часть земельного участка, проблему возможно решить через перераспределение частей земельных участков.

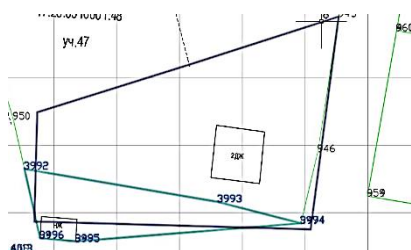


Рис. 5. Прохождение границ лесных участков через земельный участок собственника

5. Прохождение границ лесных участков через земельный участок собственника.

Часто встречающаяся ошибка на земельных участках рядом с лесными массивами [8, 9]. Характеризуется тем, что при отсутствии межевания земельного участка собственника, лесничества при проведении кадастровых работ по определению своих границ, проводят их через частные земельные участки по причине отсутствия информации в Росреестре о границах этого участка. Проблема решается в рамках Лесной амнистии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральный закон "О кадастровой деятельности" от 24.07.2007 N 221-ФЗ: [Электронный ресурс]: URL [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_70088/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_70088/).
2. Приказ Росреестра от 14.12.2021 N П/0592 "Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке" (Зарегистрировано в Минюсте России 31.03.2022 N 68008): [Электронный ресурс]: URL [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_413314/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_413314/).
3. Официальный сайт Росреестра: [Электронный ресурс]: URL <https://rosreestr.gov.ru>.
4. Межевые дела кадастрового инженера (табельный номер в реестре кадастровых инженеров: 39396).
5. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
6. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.

7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences. Volume 91, 2 April 2019.
8. Знобищева М.С., Брайла Н.В. Проблемы реконструкции исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. науч. ст – Архангельск, 2020. – С.115–118.
9. Белова Е.И. Реестровые ошибки и варианты их исправления / Е.И. Белова, В.С. Кудрявцев, Я.А. Олехнович // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 139–141.

УДК 711.58

П.А. Строева, М.В. Перькова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ ОТКРЫТЫХ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ МИКРОРАЙОНОВ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XX ВЕКА В Г. ОРЛЕ

*Актуальность исследования:* в настоящее время открытые городские пространства советских микрорайонов не соответствуют современным требованиям проектирования и потребностям населения, что, в свою очередь, порождает различные градостроительные конфликты. Проведение анализа планировочных элементов городской структуры – микрорайонов, выявление взаимосвязи социальных и пространственно-планировочных факторов в градостроительном развитии жилых территории, будет способствовать поиску путей реорганизации с целью формирования комфортной жилой среды [4].

*Цель исследования* состоит в выявлении градостроительных конфликтов с выделением их подвидов на территориях открытых городских пространств (общественных и дворовых пространств) микрорайонов второй половины XX века в г. Орле. Для достижения цели исследования ставятся следующие задачи: выявить градостроительные конфликты на территориях открытых городских пространств микрорайонов второй половины XX века в г. Орле, выделить подвиды выявленных градостроительных конфликтов и предложить возможные способы решения этих конфликтов. В исследовании применяется конфликтологический подход и теоретические методы исследования: анализ, классификация.

Конфликт – междисциплинарное понятие, которое заключается в каком-либо противостоянии. Изучение пространственной стороны конфликтов началось в XX веке (Л. Вирт, Э. Берджесс, М. Кастельс) и продолжается до сих пор, поскольку предметная область данного вопроса сложилась не в полной мере. Градостроительный конфликт является видом городского конфликта [2] и представляет собой столкновение интересов и потребностей участников градостроительной деятельности в отношении использования территории, которое направлено на изменение пространства городской среды в соответствии с представлениями о будущем месте [1, 3, 6]. Метод социальной адаптации дворовых пространств в условиях квартальной и микрорайонной застройки на основе конфликтологического подхода был предложен в работах Перьковой М.В., Вайтенса А.Г., Лебедевой Ю.И. [5].

Основными участниками градостроительных конфликтов являются общество, которое имеет потребность в комфортной и безопасной городской среде, застройщики, которые инвестируют в городскую недвижимость и заинтересованы в получении от своей деятельности максимальной прибыли, органы власти и управления, которые имеют полномочия в регулировании градостроительной политики, а также проектировщики, которые разрабатывают градостроительную документацию [7, 8]. На основе анализа материалов полевого обследования территорий открытых городских пространств (общественных и дворовых пространств) микрорайонов второй половины XX века в г. Орле выявлены

градостроительные конфликты четырех видов: транспортные, социально-функциональные, землепользовательские и нормативно-правовые (по классификации М.В. Перьковой) [3].

Для каждого вида градостроительного конфликта исходя из конкретной ситуации авторами сформулированы следующие подвиды:

1) для транспортного конфликта:

- конфликт взаимоисключения (примеры: конфликт взаимоисключения «автомобильный проезд – тротуар/пешеходная зона», конфликт взаимоисключения «зона парковки – территория зеленых насаждений (средний и нижний ярус)»);
- конфликт приоритета движения (пример: конфликт приоритета движения «пешеходный маршрут = велосипедный маршрут»);
- конфликт доступности (пример: конфликт доступности пешеходных путей, в том числе для маломобильных групп населения);

2) для социально-функционального конфликта:

- конфликт взаимовлияния функциональных зон (примеры: конфликт взаимовлияния функциональных зон «пешеходная зона – зона нестационарной торговли», конфликт взаимовлияния функциональных зон «зона активного отдыха – зона тихого отдыха», конфликт взаимовлияния функциональных зон «зона спортивной площадки – зона детской площадки»);
- конфликт влияния (примеры: конфликт влияния «бюджет – функциональность», конфликт влияния «бюджет – качество – эстетика»);
- конфликт масштабности;
- конфликт функциональной насыщенности;
- конфликт безопасности;

3) для землепользовательского конфликта:

- конфликт взаимовлияния (пример: конфликт взаимовлияния «публичное пространство – приватное пространство»);

4) для нормативно-правового конфликта:

- конфликт правомерности (примеры: конфликт правомерности осуществления торговли на территориях общего пользования, конфликт правомерности парковки на территории зеленых насаждений (средний и нижний ярус)).

В целях разрешения выявленных градостроительных конфликтов на территориях открытых городских пространств микрорайонов второй половины XX века в г. Орле разработаны возможные мероприятия. Для разрешения транспортных конфликтов на территориях общественных пространств следует разграничить пешеходную зону и автомобильный проезд посредством устройства тротуара, организовать открытые парковки, проложить велосипедные дорожки, отделенные от пешеходной зоны озеленением или бордюрным камнем, создать безбарьерную среду и обеспечить связность пешеходных путей, осуществлять своевременный ремонт дорожных покрытий, развивать общественный транспорт, пешеходную и транспортную инфраструктуры. В дворовых пространствах для урегулирования транспортных конфликтов необходимо разделить пешеходную зону и внутридворовой проезд при помощи создания тротуара, организовать открытые и полуоткрытые автостоянки или построить наземные, подземные и встроенные паркинги, создать на территориях дворов безбарьерную среду, своевременно ремонтировать покрытия транспортных и пешеходных путей. В общественных пространствах для устранения социально-функциональных конфликтов следует создать на неиспользуемых участках пустого пространства благоустроенные озелененные территории с различными функциональными зонами, увеличить их разнообразие в соответствии с размерами территории, привлечь коммерческую инфраструктуру для участия в развитии общественных пространств и пешеходной сети. Для разрешения социально-функциональных конфликтов в



дворовых пространствах необходимо в целях акустического комфорта территории организовать во дворах площадки небольшого размера, которые не предназначены для большого скопления людей, с разделением зон активного и тихого отдыха, разместить крупные игровые и спортивные площадки в удалении от жилых домов в общественной зоне, разграничить зоны спортивной площадки и детской площадки при помощи озеленения для безопасности и комфортного использования оборудования, включить дворные пространства, нуждающиеся в реорганизации, в программы местных или национальных проектов, рационально использовать дворную территорию: создать различные функциональные зоны в соответствии с интересами жителей домов, повысить социальный контроль на территории посредством благоустройства. Для устранения землепользовательских конфликтов в микрорайонах необходимо сформировать полузамкнутые периметральные жилые группы с частными дворами и общественными пространствами между ними. В целях урегулирования нормативно-правовых конфликтов на территориях открытых городских пространств следует проводить проверки и привлекать к ответственности лиц, осуществляющих торговлю на территориях общего пользования без разрешения, следить за соблюдением правил парковки транспортных средств и выписывать штраф в случае их нарушения.

В результате проведенного исследования на территориях открытых городских пространств микрорайонов второй половины XX века в г. Орле выявлены градостроительные конфликты четырех видов, для каждого из которых сформулированы следующие подвиды: для транспортного конфликта – конфликт взаимоисключения, приоритета движения, доступности; для социально-функционального конфликта – конфликт взаимовлияния функциональных зон, влияния, масштабности, функциональной насыщенности, безопасности; для землепользовательского конфликта – конфликт взаимовлияния; для нормативно-правового конфликта – конфликт правомерности. Выделенные подвиды могут послужить началом для разработки расширенной классификации градостроительных конфликтов.

Предложенные мероприятия по урегулированию выявленных градостроительных конфликтов позволят преобразовать открытые городские пространства микрорайонов второй половины XX века в г. Орле с учетом интересов всех участников конфликтов, а также повысят комфорт, качество и безопасность жилой среды.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кончечков С. М. Теоретические представления градостроительного конфликта [Электронный ресурс] // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2018. – №. 1 (42). – С. 269-286. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-predstavleniya-gradostroitel'nogo-konflikta/viewer>.
2. Медведев И.Р. Разрешение городских конфликтов: монография / И.Р. Медведев. – Москва: Infotropic Media, 2017. – 372 с.
3. Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. Классификация градостроительных конфликтов [Электронный ресурс] // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова*. – 2018. – №. 12. – С. 83–90. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-gradostroitelnyh-konfliktov/viewer>.
4. Перькова М.В., Борзых Е.В. Оценка взаимосвязи социальных и пространственных факторов в планировке г. Строитель [Электронный ресурс] // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. – 2015. – №6. – С. 134–138. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vzaimosvyazi-sotsialnyh-i-prostranstvennyh-faktorov-v-planirovke-g-stroitel>.
5. Перькова М.В. Социальная адаптация придомовых территорий многоквартирных жилых домов [Электронный ресурс] / М.В. Перькова, Ю.Д. Лебедева, А.Г. Вайтенс. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – 99 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36725310>.
6. Фрейдин Е.О. Градостроительный конфликт. Понятие и стратегии развития [Электронный ресурс] // *Московская школа конфликтологии*. – 2009. Режим доступа:

<https://conflictmanagement.ru/gradostroitelnyiy-konflikt-ponyatie-i-strategii-razvitiya/?ysclid=lska461gx9484348551>.

7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.

8. Черепанов К.А. Градостроительные конфликты: определение, причины и следствия, участники, разрешение [Электронный ресурс] // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2013. – №. 7. – С. 18–25. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnye-konflikty-opredelenie-prichiny-i-sledstviya-uchastniki-razreshenie>.

УДК 69.01

Д.М. Сухова, Д.Д. Гордюшов, Л.И. Близнец  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## МАТЕРИАЛЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИИ В ИСТОРИИ АРХИТЕКТУРЫ

*Цель работы* – анализ исторических конструкций в металле и исследования в области архитектуры, ее динамики развития в различных странах и влияние на расчеты строительных материалов, доступных в определенной стране в определенную эпоху. Конструктивные особенности сооружений, начиная с Античных времен, и возможность переложения их на современные материалы является главным вопросом данного исследования. Так как каждый конкретный архитектурный стиль и его развитие в определенной стране является отдельной темой исследований, то в этой статье рассмотрены только конструктивные элементы, являющиеся «визитной карточкой» для каждого из стилей и эпох.

Необходимо ввести классификацию эпох, деление на которые были использованы в этой статье. Она является обобщенным упрощенным вариантом общепринятой классификации в официальной истории архитектуры, принятой современным обществом [4, 6]. Были рассмотрены конструкции Античной Греции, Античного Рима, Средневековой Европы: в частности, архитектура Византии в эпоху феодализма, романская архитектура, готическая архитектура. Более поздние стили в рамках данной статьи не приняты во внимание, так как дальнейшее развитие архитектуры основано на конструкциях вышеперечисленных эпох. В строительных материалах сравнивается бетон, который был изобретен еще в Древнем Риме и применен еще при строительстве Колизея [3, 5], и металл, используемый в XXI в строительстве, приобретающий большую популярность и изготавливаемый из различных строительных сталей и алюминиевых сплавов.

Актуальность данной темы в том, что при рациональном использовании опыта прошлых архитекторов и инженеров, можно минимизировать затраты на строительство при увеличении разнообразия современной стилистике зданий и сооружений.

Огромное количество стилей, вариаций на тему конкретного стиля и комбинаций конструкций уже было создано к 2024 году. В научных архитектурных кругах существует мнение, что всё придумано было к середине XX столетия, и всё, что остается делать сейчас – это искать новые способы подачи с конструктивной и эстетической точек зрения. Для того, чтобы грамотно использовать на практике данное мнение, необходимо систематизировать имеющуюся информацию по данному вопросу. Для этого выявлены «визитные карточки» эпох.

Классификация [4, 7]:

1. Античная Греция – ордер колонны;
2. Античный Рим – арка;
3. Архитектура Византии в эпоху феодализма и Романская архитектура – типы сводов;
4. Готическая архитектура – контрфорс.

В данной статье использованы теоретические методы исследования, такие как: классификация, аналитическое обобщение и абстрагирование.

Первый этап работы заключался в определении конкретного вопроса исследования.

Второй этап – в сборе данных по теме. Были изучены соответствующие статьи [2] и иная литература [1, 3–5] по данному вопросу, также был проведен опрос специалистов в данных областях.

Третий этап – в классификации по типу конструкции, времени постройки, и строительным материалам полученной информации и анализе полученной информации.

Основным строительным материалом ордера колонны, арки, свода, контрфорса являлся камень. Виды камней различны из-за территориальных особенностей, но при расчетах на прочность, жесткость и устойчивость вид камня не несет существенных изменений в контексте статьи.

Рассмотрим отдельно каждый пункт классификации, приведенной во вводной части.

Архитектурный ордер [4, 8] – это стоечно-балочная конструкция, подчиненная определенному формообразцу, пропорциям и чередованию отдельных ее элементов. Ордер воспринимает не только всю вертикальную нагрузку от вышележащих элементов сооружения, но также и горизонтальную от временных и кратковременных нагрузок. Существует три основные вида ордера в Древней Греции: дорический, ионический и коринфский. Каждый из ордеров состоит из трех основных элементов, которые в свою очередь также состоят из трех элементов каждый: антаблемент состоит из карниза, фриза, архитрава; колонна состоит из капители, ствола и базы; пьедестал состоит из карниза пьедестального, стула и цоколя. Нагрузки передаются равномерно от элемента к элементу соответственно. Антаблемент считается декоративным элементом ордера. Однако главная задача антаблемента, самая важная для работы всего ордера на прочность и устойчивость – это восприятие нагрузок от фронтона и перераспределение по сечению колонны. Размеры деталей антаблемента малы, при создании конструкции в металле, необходимо будет использовать ковку, а не литье. Следовательно, будет глобальное удорожание процесса строительства, несмотря на уменьшение объемов затрачиваемого материала.

Арка была впервые сконструирована в Древнем Риме [3] и используется в большинстве современных архитектурных стилей, на пример в параметрической архитектуре. Перерасчет в металл успешно проведен в начале XX века. Арочная конструкция дала начало конструкции свода.

Свод – это тип перекрытия или покрытия пространства (помещения), ограниченного стенами, балками или столбами — конструкция, которая образуется наклонными поверхностями (прямолинейными или криволинейными). Своды позволяют перекрывать значительные пространства без дополнительных промежуточных опор, используются преимущественно в круглых, многоугольных или эллиптических в плане помещениях. Существует несколько основных типов свода, подразделяющихся по конструкции тела свода, направлению передаваемой нагрузки и типу опирания; схемы представлены на рис. 1.

Все остальные своды созданы позднее на базе семи типов, представленных выше.

Делать целиком металлический свод также не рационально. Но по типу свода делать ребра жесткости в современных строениях из металла не только возможно, но и практично [1]. Распространённым примером подобной конструкции является сводчатый атриум, применяющийся в общественных и промышленных сооружениях.

Контрфорсы появляются позднее из-за создания сводов и представляют вертикальную конструкцию, либо выступающую часть стены, либо ребро – отдельно стоящую опору, связанную со стеной аркбутаном. Предназначены контрфорсы для усиления несущей стены путем принятия на себя горизонтальной составляющей нагрузки от свода. Внешняя поверхность может быть вертикальной, ступенчатой или непрерывно наклонной, увеличивающейся к основанию. Если строительным материалом конструкции будет металл, то предельные состояния нагрузок увеличатся, а объем материала уменьшится. Элементы контрфорса выполняются литьем. Значит, в процессе производства работ удорожания также не произойдет.

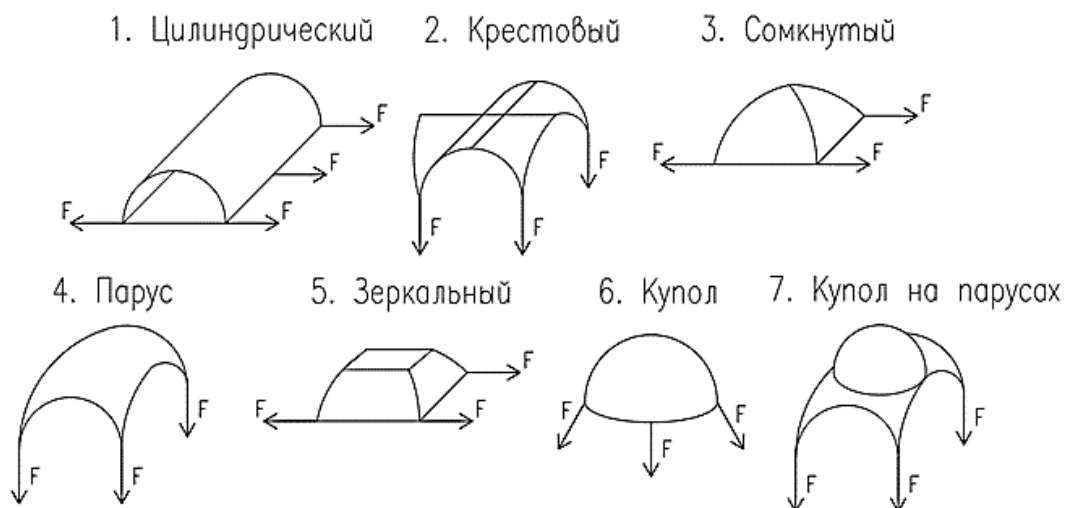


Рис. 1. Типы сводов

Анализируя проведенное исследование, можно сделать *вывод*, что из четырех примеров конструкций рационально изменения материала целиком в двух случаях – контрфорсе и арке. Чаще всего необходимо использовать детали из металла, как в случае со сводом. Бывают случаи не рационального применения металла, что мы выяснили при рассмотрении ордера колонны.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тищенко Н.Ф., Юрина Н.В. Конструкции зданий и сооружений с элементами статики. Проектирование и строительство в условиях реставрации и реконструкции. Изд-во: Академия, 2017 г. 422 с.
2. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
3. Рудакова Я.Н., Иванова Е.И. Влияние развития исторической архитектуры на реновацию XXI века. Научная статья. 5 с.
4. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences. Volume 91, 2 April 2019.
5. Шуази О. Строительное искусство древних римлян. Изд-во: Всесоюзная история архитектуры, 1938 г, 169 с.
6. Кох В. Энциклопедия архитектурных стилей. Изд-во: БМ АО, 2005 г. 528 с.
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана
8. Михайлов А.М. Металлические конструкции в примерах. Изд-во: ЁЁ Медиа, 2024 г. 320 с.

УДК 711.432

П.А. Торчинская, Н.В. Брайла  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИДЕЙ ГОЛУБОГО УРБАНИЗМА В РАЗВИТИИ Г. ГЕЛЕНДЖИК

Голубой урбанизм – это концепция, включающая в себя группу идей и перспектив (рис. 1) комплексного развития и управления прибрежных городов при условии тщательного регулирования их влияния на морскую среду [1].



Рис. 1. Идеи Голубого урбанизма

Свое название концепция взяла от цвета воды и планеты, а основополагающие идеи впервые были изложены в статье Т. Битли «Голубой урбанизм: город и океан» [1]. Активному внедрению голубого урбанизма в градостроительные процессы способствуют современные технологии измерений и визуализации влияния жизни города на океан.

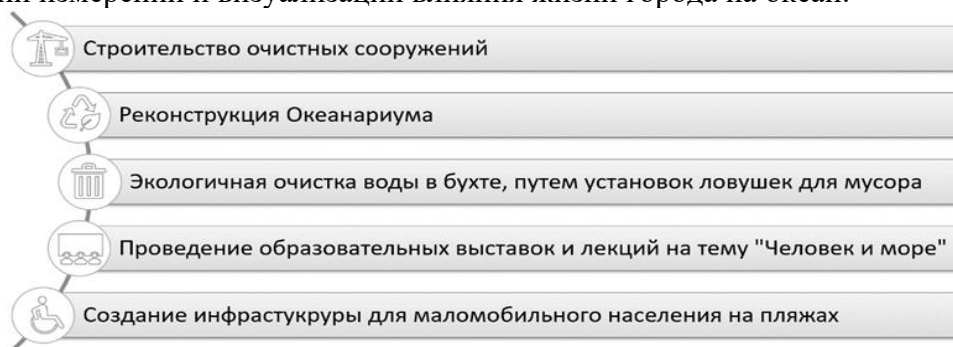


Рис. 2. Идеи Голубого урбанизма для реализации в г. Геленджик

Муниципальное образование город-курорт Геленджик – классический приморский курорт Черноморского побережья. Наиболее реализуемые для него идеи Голубого урбанизма представлены на рисунке 2.

Система водоотведения в Геленджик устроена таким образом, что сточные воды от жилых домов, санаториев и прочих зданий, и сооружений по подземным трубам коллекторов, а также ливневые стоки самотеком собираются в общие напорные сети и напрямую сбрасывается в акваторию бухты (рис. 3).



Рис. 3. Дренажные (или канализационные) трубы в районе Центрального пляжа

На основе опроса, проводимого в открытых источниках среди 1 172 туристов, было выявлено, что около 82% отдыхающих в Геленджике в 2023 г. обращались в медицинские учреждения из-за ненадлежащего качества воды в бухте [2]. Решением данной проблемы является проект «Чистая бухта», нацеленный на реконструкцию системы водоотведения и строительство очистных сооружений, которые будут осуществлять глубоководный выпуск очищенных сточных вод (рис. 4.). После введения данных сооружений в эксплуатацию ожидается снижение нагрузки на медицинские учреждения в пик курортного сезона.

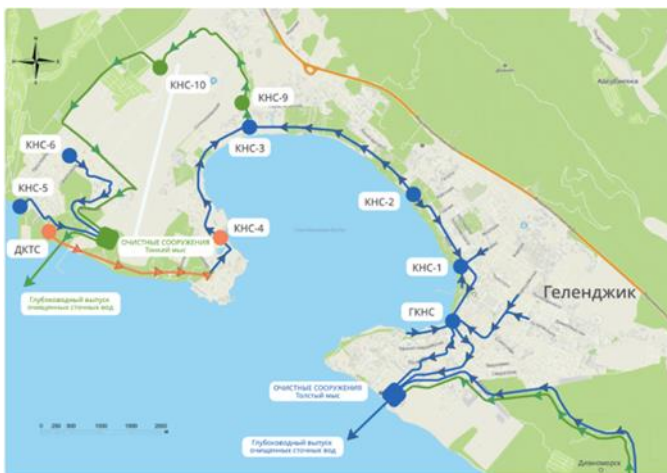


Рис. 4. Карта новых (зеленый цвет) и реконструируемых (синий цвет) объектов водоотведения по проекту «Чистая Бухта»



Рис. 5. Доля одноразовых товаров, загрязняющих побережье Черного моря

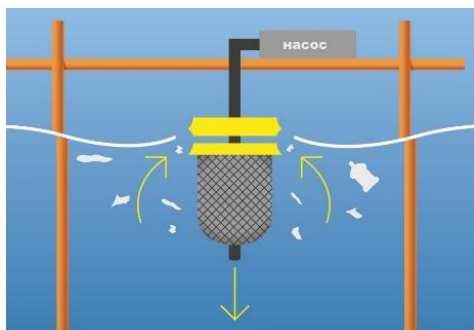


Рис. 6. Плавающая ловушка для сбора мусора

Анализируя качество воды в бухте, была обнаружена проблема загрязнения одноразовым пластиком, который попадает в акваторию с общественных пляжей, причалов и набережных [4] (рис. 5).

В качестве решения данной проблемы разработан проект компактных, плавающих и экологических ловушек для пластика (рис. 6).

Оптимальными местами для установки ловушек являются пирсы, причалы, а также водный транспорт, где присутствует источник питания. По результатам

зарубежных исследований, данное устройство является перспективным и экологичным способом борьбы с бытовым пластиком в туристических районах. Проведя расчеты, было выявлено, что необходимо установить 26 ловушек по периметру бухты, стоимостью 260 тыс. руб.

Немаловажным трендом развития прибрежных городов является создание инфраструктуры для маломобильного населения на пляжах. По статистике всего 0,3% пляжей в России пригодны для маломобильных групп населения [6]. Для решения данной проблемы был разработан проект реконструкции Лермонтовского пляжа в Геленджике.

Предложения по реконструкции внесены на основе национального стандарта РФ «Безбарьерная среда жизнедеятельности инвалидов. Пляжи доступные для инвалидов» (ГОСТ Р 70502-2022). Согласно стандарту на береговой территории доступного пляжа

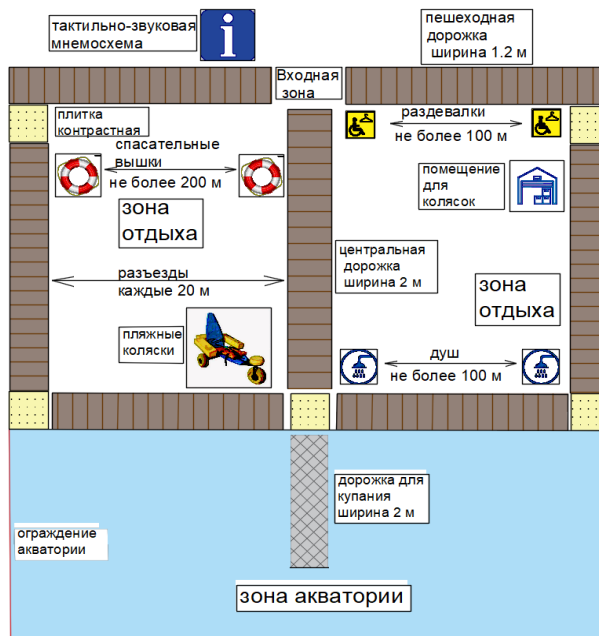


Рис.7. Схема организации Лермонтовского пляжа, согласно национальному стандарту РФ, Безбарьерная среда

следует обустроить коммуникационные пути – дорожки, идущие от доступного входа к доступной зоне отдыха, соединяющие между собой пляжные объекты, тактильно-звуковые указатели и таблички, универсальные кабины туалетов; душевые кабины; кабины для переодевания и т.д. Подробная схема представлена на рисунке 7.

Повышение туристической привлекательности и качества жизни местных жителей заключается не только в материальных аспектах, рассмотренных выше, но и в культурных мероприятиях, открытиях памятников, организации образовательных и развлекательных мероприятий, которыми занимается АНО «Геленджик-2035» [7].

В качестве места проведения образовательных выставок и лекций, создана концепция подводной смотровой площадки на основе выпускной квалификационной работы Ботевой Т.Ю. [8]. Согласно проекту, смотровая площадка представляет собой комплекс площадок, заглубленных в водоём и защищенных от затопления водонепроницаемыми светопрозрачными стенками, обеспечивающих возможность подводного наблюдения. [5].

Реализация идей голубого урбанизма в Геленджике может привести к значительному улучшению экологической ситуации в городе и привлечению большего количества туристов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Артемова Е.И. Развитие микрофинансирования как направление повышения доступности финансовых ресурсов для малого предпринимательства в Краснодарском крае / Е.И. Артемова, Е.В.Плотникова // Экономика, труд управление в сельском хозяйстве. – 2019. – №10 (50). – С. 110–116.
2. Официальный сайт администрации муниципального образования город-курорт Геленджик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gelendzhik.org/>
3. Кропянко Л.В. Совместимость деятельности приморских городов юга России // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2012. – № 11. – С. 112–128.
4. Вильчинская О.В. Экологические проблемы Азово-Черноморского побережья Краснодарского края // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2010. – №3. – С. 200–207.
5. Горячих М.В., Андриющенко Е.С. Проблемы модернизации коммунальной инфраструктуры в городах-курортах России // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2019. – №9 (94). – С. 122–131.
6. Статистика пляжей в России и за границей [Электронный ресурс] – Режим доступа [https://vk.com/wall-195839550\\_556?ysclid=lsjacsa5av1996669926](https://vk.com/wall-195839550_556?ysclid=lsjacsa5av1996669926)
7. Официальный сайт АНО «Геленджик-2035» [Электронный ресурс] – Город 2035 (g2035.ru)
8. Ботева Т.Ю. Создание благоустроенной территории в охранной зоне (на примере городского поселения Мурино): выпускная квалификационная работа магистра: направление 07.04.04 «Градостроительство»; образовательная программа 07.04.04\_01 «Информационное моделирование объектов градостроительства» – 2023.

УДК 712.253

Д.А. Юсикова, Ю.В. Волкова  
Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого

### ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ВЕЛОДОРОЖНОЙ СЕТИ В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ

*Цель работы* – изучить формирование велотранспортной инфраструктуры в городах и создать стратегию разработки велосипедного маршрута в рекреационной зоне.

Велотранспортная инфраструктура (далее – ВТИ) представляет собой систему конструктивных элементов велосипедной сети и ее обустройства. Основные принципы, согласно которым формируется ВТИ в городах, это: безопасность, прямолинейность и равномерность движения, связность и непрерывность, привлекательность и комфорт [1–3].

Велосипедные маршруты в зависимости от цели поездки жителей могут быть разделены на деловые и рекреационные. Для велопрогулок в рекреационных зонах приоритетными принципами для жителей являются безопасность и привлекательность маршрута, при этом

чуть менее актуальны связность и непрерывность, комфорт, а прямолинейность движения имеет наименее значительную роль.

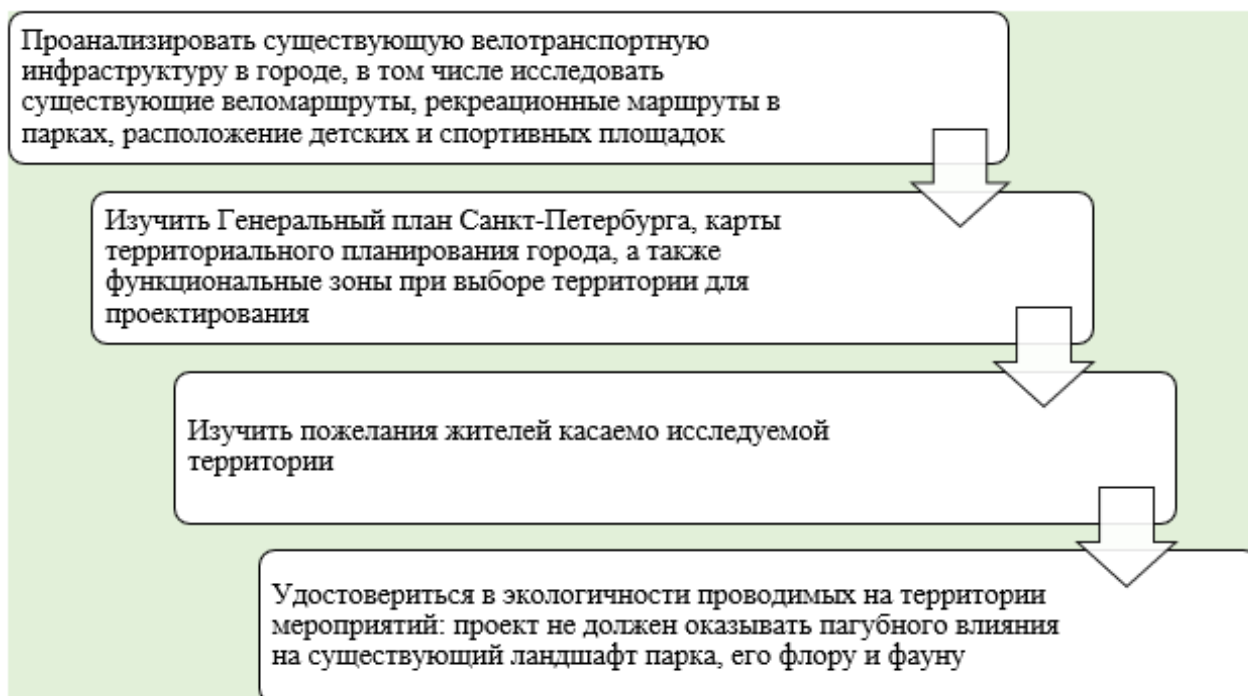


Рис. 1. Стратегия выбора территории для разработки велосипедного маршрута в рекреационной зоне

Безопасность на рекреационных маршрутах рассматривалась более подробно как самый приоритетный принцип из вышеперечисленных [4–6]. К основным составляющим были отнесены: разделение пешеходных и велотранспортных потоков, а также учет их интенсивности; учет расстояний безопасности до объектов, которые расположены рядом с велосипедной дорожкой; обеспечение качественного покрытия велодорожек; обеспечение освещенности; обеспечение необходимым количеством знаков и разметками; учет зонирования территории [10].

Для разработки велосипедного маршрута выбирается территория согласно стратегии, приведенной на рисунке 1.

На выбранной территории, удовлетворяющей выдвинутым требованиям, ведется проектирование велосипедного маршрута. Его разработка производится по сценарию, приведенному в таблице 1.

Согласно [7–9] велосипедная дорожка представляет собой отдельную дорогу или часть автомобильной дороги, предназначенную для велосипедистов и оборудованная соответствующими техническими средствами организации дорожного движения. При этом велопешеходная дорожка предназначена для раздельного или совместного с пешеходами движения велосипедистов и обозначенная дорожными знаками. В рекреационных зонах проектируются как изолированные велодорожки, так и велопешеходные дорожки.

В нормативных документах РФ, таких как: СП 475.1325800.2020, СП 396.1325800.2018, СП 42.13330.2016, ГОСТ 33150-2014, Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Требования к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в Российской Федерации – указаны параметры, согласно которым следует проектировать велодорожки в рекреационных зонах. К основным из них относятся: ширина велодорожки,



минимальный и максимальный поперечные наклоны, максимальный продольный уклон, а также минимальный радиус кривых в плане.

Таблица 1 – Стратегия разработки велосипедного маршрута в рекреационной зоне

№ п/п	Необходимые действия	Пояснение
1	Анализ существующего ландшафта территории и выявление сложных участков	До проектирования необходимо изучить климатические и инженерно-геологические условия территории. Также нужно сформировать шаги по подготовке территории к эксплуатации
2	Выявление категорий посетителей и их пожеланий	Маршруты формируются в зависимости от категории посетителей и предпочитаемых маршрутов
3	Выявление наиболее популярных существующих маршрутов населения в парке и выделение основных и второстепенных маршрутов	Анализ траекторий движения посредством тепловых карт или других источников, тем самым определив самые интенсивные потоки велосипедистов и пешеходов внутри парка. Данные будут способствовать правильному выбору ширины и типа дорожек
4	Проектирование велосипедного маршрута с учетом наиболее привлекательных локаций	Интересные видовые локации станут местом притяжения велосипедистов к маршрутам
5	Обеспечение замкнутости и связности маршрута	Удобство маршрута повышает его привлекательность для пользователей
6	Анализ существующих велосипедных маршрутов возле рассматриваемой территории	Рекреационные маршруты, создаваемые в парке, могут быть успешно включены в существующую велосипедную транспортную сеть города, что также повысит его привлекательность: будет выполняться не только развлекательная функция, но и транспортная

Таблица 2 – Параметры для проектирования рекреационных велодорожек

№ п/п	Тип велодорожки	Ширина, м	Поперечный уклон, ‰	Продольный уклон, ‰	Min радиус кривых в плане, м	Длина маршрута, км
1	Изолированная с двухсторонним движением	3	5-30	5-70	15-25	От 2
2	Велопешеходная	3-4,5				

С учетом анализа нормативно-правовых документов была составлена таблица 2, в которой отражены параметры велосипедных дорожек, используемые при проектировании.

В результате исследования были выделены основные принципы, согласно которым формируется велотранспортная инфраструктура в городах, а также методы их обеспечения. Наиболее востребованным принципом является безопасность. Была создана стратегия разработки велосипедного маршрута в рекреационной зоне и рассмотрены нормативно-правовые документы РФ для выявления параметров велодорожек, которыми следует руководствоваться при проектировании.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Требования к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в Российской Федерации // [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71903780/> (дата обращения: 10.11.2023).
2. СП 475.1325800.2020. Свод правил. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 22.01.2020 N 26/пр).
3. Свод правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. N 777/пр).
4. СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01-89\* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр).
5. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
6. ГОСТ 33150-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование пешеходных и велосипедных дорожек. Общие требования (от 01.02.2016).
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
8. Альбом конструктивных элементов обустройства велотранспортной инфраструктуры // [Электронный ресурс] URL: [https://transport.mos.ru/common/upload/public/file/albom\\_velo.pdf](https://transport.mos.ru/common/upload/public/file/albom_velo.pdf) (дата обращения: 10.11.2023).
9. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
10. Транспорт будущего // [Электронный ресурс] URL: <https://velofuture.strelka-kb.com/> (дата обращения: 12.11.2023).

УДК 711.112

К.С. Герасимова, Я.Р. Орлова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ГОРОДСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ

*Цель работы* – оценка и сравнение современных принципов городского планирования и развития, которые направлены на улучшение среды обитания человека.

Город является сложной системой, которая состоит из множества подсистем, взаимодействующих друг с другом на постоянной основе. Рост урбанизации и численности населения в городах ведет к необходимости формирования и развития комфортной городской среды. Из-за такой острой потребности в постоянном улучшении среды обитания граждан формируются принципы развития и планирования городских территорий.

Авторы, которые занимались вопросами развития городов, выделяют несколько подходов, концепций и принципов их развития.

Одним из подходов к городскому планированию является ландшафтно-экологический подход [1]. В градостроительстве важно рассматривать город как ландшафт. Городской ландшафт – это сочетание природных и искусственных компонентов, это единство природного комплекса и градостроительной деятельности человека. Экологическая составляющая так же является важной при планировании городской среды. Важно принимать такие планировочные решения, которые смогут благоприятно влиять на окружающую среду.

Ландшафтно-экологический подход является совокупностью экологического и ландшафтного подходов. Ландшафтный подход является сложным составным подходом, который помогает изучать различные элементы природной среды. Ландшафтный подход

состоит из: функционального подхода (рассматривает ландшафты как сложные геосистемы и выявляет особенности их функционирования), историко-генетический подход (изучает историческую составляющую объекта), морфотипный подход (анализирование планировочной структуры города), геоэкологический подход (рассматривает ландшафт как сложную природно-техногенную систему) и внешний подход (восприятия городского ландшафта гражданами) [2].

Экологический подход к проектированию городских пространств направлен на максимальное сохранение биоразнообразия территорий, на которых развиваются города.

Еще одной концепцией развития и планирования городов является комплексное планирование (Integrated planning) [3, 7]. Комплексное развитие полностью включает в себя все факторы устойчивого развития территорий: экологические, экономические, градостроительные и социальные. Устойчивое развитие базируется на сбалансированном взаимодействии и развитии всех этих факторов. К экологическим факторам в устойчивом развитии помимо влияния человека на окружающую среду также относятся действия по улучшению этой окружающей среды. Сюда можно отнести экологическое восстановление территорий, рекультивация земель, сохранение биологического разнообразия животного и растительного видов, озеленение, благоустройство и прочее. К экономическим факторам можно отнести инвестиции в основные фонды, развитие местных инвестиций и прочее. К градостроительным факторам относятся рост городов, понижение этажностей зданий, обеспечение транспортной доступности и тому подобное. К социальным факторам можно отнести улучшение качества жизни, социальная защита населения и тому подобное.

Методология концепции устойчивого развития территорий основана на интеграции трех компонентов: планирования, развития и устойчивости экосистемы в единый процесс. Такой процесс можно использовать для работы над взаимодействующими особенностями условий окружающей среды, общества и экономики в конкретных условиях.

Еще одной современной концепцией развития городской территорией является концепция 15-минутного города. Эта концепция стала популярна во времена пандемии COVID-19, когда передвижение граждан ограничивалось близлежащими районами. В это время было важно, чтобы люди получали все необходимое в пешей доступности от дома. концепция 15-минутного города – это идея компактного, социально устойчивого и ориентированного на человека города [5, 8]. Такая концепция помогает уменьшать транспортную нагрузку, увеличить рост идентичности территорий и вовлеченности граждан в процесс развития городов.

Современная концепция «умного» города заключается в применении современных технологий и интернета вещей для управления городом. Улучшения качества жизни населения производится за счет применения технологий городской информации. К концепции «умного» города можно отнести развитие информационных и телекоммуникационных технологий, цифровых средств массовой информации [6, 9].

Таким образом, для качественного развития городских территорий необходимо уделять особое внимание выбираемому принципу развития и планирования этих территорий, которые смогут влиять на качество жизни населения. Концепция комплексного развития, которая включает в себя параметры устойчивого развития, очень распространена, она включает в себя четыре фактора, которые смогут обеспечить гармоничное, всестороннее развитие территорий.

Одной из актуальных концепций городского планирования является концепция 15-минутного города. Такая концепция могла бы стать хорошим дополнением к концепции комплексного развития территорий. Их совокупность в большей степени скажется на улучшении качества жизни населения. Концепция комплексного развития территорий развивает городскую среду всесторонне, учитывая различные факторы, а концепция

15-минутного города более детально прорабатывает маленькие части города: микрорайоны и кварталы.

Для улучшения среды обитания граждан также необходимо учитывать инклюзивное развитие городов – равное городское пространство для всех категорий граждан. Концепция инклюзивного развития городов направлена на обеспечение равного доступа всех к городской среде.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Орловская Л. А. и др. Ландшафтно-экологический подход при проектировании городской среды // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. – 2017. – №. 2. – С. 227–230.
2. Кочуров Б. И. и др. Ландшафтный подход в градостроительном проектировании // Юг России: экология, развитие. – 2018. – №. 3. – С. 71–82.
3. Brankica M. Integrated Urban Planning in Theory and Practice. – 2018.
4. Вагин В. С., Шеина С. Г., Чубарова К. В. Принципы и факторы устойчивого развития городских территорий // Вестник евразийской науки. – 2015. – Т. 7. – №. 3 (28). – С. 9.
5. Щербакова Д. В. Современные концепции развития городов // Современное государственное и муниципальное управление: проблемы, технологии, перспективы. – 2022. – С. 384–390.
6. Акимова О. Е., Волков С. К., Хрысева А. А. Концепция "умный город": эволюция, элементы и форма реализации // Теоретическая экономика. – 2020. – №. 6 (66). – С. 55–63.
7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
9. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.

УДК 72.023

И.В. Ямшанов, И.Р. Платц

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ: ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В современном строительстве стали активно внедряться инновационные материалы, направленные на повышение прочности, энергоэффективности и долговечности конструкций, а также улучшение условий эксплуатации для жильцов жилых комплексов.

*Целью работы* является рассмотрение инновационных материалов в строительстве жилых комплексов, анализ их характеристик и перспектив применения.

В исследовании использовался аналитический метод, основанный на анализе доступной литературы и данных, а также сравнительный анализ характеристик современных материалов.

Современные материалы, применяемые в строительстве жилых комплексов, представляют собой инновационные составы, которые обеспечивают не только высокую прочность и долговечность конструкций, но и энергоэффективность и удобство в эксплуатации. Углеродистый бетон является примером такого материала. Этот композитный материал включает в себя углеродные нанотрубки или волокна, добавленные в матрицу из цемента, песка и воды. Результатом является материал с высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и отличными теплоизоляционными свойствами, что делает его идеальным для применения в различных инфраструктурных объектах, включая мосты, тоннели и здания [1].

В Германии завершено первое здание из углеродного бетона в кампусе Дрезденского технологического университета, называемый «Куб». Это двухэтажное сооружение возводилось два с половиной года. Углеродный бетон обладает значительными преимуществами: он легче и прочнее стали, позволяет создавать тонкие и сложные формы [2]. Его срок службы превышает 200 лет по сравнению с 40–80 годами у железобетонных конструкций. Благодаря электропроводности углерода модули из этого материала могут оснащаться различными функциями, такими как изоляция, обогрев или мониторинг, обеспечивая «интеллектуальную сеть» в зданиях.

Композитные панели, такие как кросс-ламинированное дерево (CLT), состоят из слоев древесины, склеенных вместе под высоким давлением и температурой. Эти панели обладают выдающимися механическими характеристиками, что позволяет использовать их в качестве конструкционного материала для высотных зданий. Они способны снижать нагрузку на фундамент и обладают высокой экологической устойчивостью, что делает их привлекательным вариантом для использования в современном строительстве [3, 6].

Керамическая плитка, произведенная с использованием 3D-печати (рис. 1), представляет собой инновационный подход к производству, который позволяет создавать уникальные дизайны и формы с использованием 3D-принтеров. Это открывает новые возможности для дизайна как в интерьере, так и в экстерьере, обеспечивая уникальные поверхности и элементы декора [4, 7].

Кориумбрикринская фасадная система представляет собой инновационное решение для облицовки зданий, которое сочетает в себе высокие технические характеристики с эстетической привлекательностью [5, 8]. Эта система базируется на использовании качественной клинкерной плитки, произведенной на немецком заводе, специализирующемся на производстве аммиачной керамики.



Рис. 1

Преимущества кориумбрикринской фасадной системы включают в себя не только прочность и долговечность материала, но и возможность создания разнообразных текстур и теней, что добавляет зданию эстетическое очарование. Одним из ключевых преимуществ является возможность быстрой укладки, что способствует экономии времени и ресурсов при строительстве. Особенностью данной системы является её способность заменять поврежденные плитки без необходимости демонтажа всего фасада. Это значительно упрощает процесс ремонта и обслуживания здания, а также позволяет сэкономить средства на долгосрочной эксплуатации.

Исследование позволило выявить, что углеродный бетон обладает значительными преимуществами перед традиционными материалами, такими как сталь и железобетон, включая высокую прочность, легкость и долговечность. Кросс-ламинированное дерево (CLT) показывает выдающиеся механические характеристики, что делает его привлекательным вариантом для конструктивных решений в высотных зданиях. 3D-печать керамической плитки открывает новые возможности для дизайна как в интерьере, так и в экстерьере зданий. Кориумбрикринская фасадная система демонстрирует высокую прочность и эстетическую привлекательность, а также позволяет экономить время и ресурсы при строительстве за счет быстрой укладки и возможности замены поврежденных элементов без демонтажа всего фасада.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Порядная В.Е. Инновационный строительный материал – углеродистый бетон / В.Е. Порядная, О.И. Калашникова, Е.А. Бердникова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2023. – № 1. – С. 277–278. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=ltmolz> (дата обращения: 06.03.2024).
2. Chiadighikaobi P.Ch., Almuradi Yunes Ali Ali. Impact of hybrid fibers on the crack healing of concrete // Экономика строительства. 2023. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/impact-of-hybrid-fibers-on-the-crack-healing-of-concrete> (дата обращения: 06.03.2024).
3. Сугиров Д.У. Перспективные инновационные технологии в строительстве / Д.У. Сугиров // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – № 1(142). URL: <https://web.snauka.ru/issues/2023/01/99730> (дата обращения: 06.03.2024).
4. Инновационные технологии в строительстве / О.В. Корницкая, ОА. Попова, А. С. Агеева, В.В. Гунько // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. – 2023. – № 1(3). – С. 15–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29062777> (дата обращения: 06.03.2024).
5. Сугиров Д.У. Перспективные инновационные технологии в строительстве / Д.У. Сугиров // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – № 1(142). URL: <https://elibrary.ru/acjiki> (дата обращения: 06.03.2024).
6. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.

УДК 711.552.1

И.А. Лебедева, О.Ю. Цветков  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЗОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ МО «РЫБАЦКОЕ» ЗА СЧЁТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Модернизация развития системы зонирования городских территорий является неотъемлемой частью любых усовершенствований рыночных отношений с целью повышения эффективности городской инфраструктуры. За счет влияния ценностных тенденций различных поколений с точки зрения коммерции малого бизнеса для народного потребления в 1980-х годах на городских территориях стали возводиться ларьки и палатки, которые постепенно с учетом тенденций современного спроса модернизировались в иные сферы малого бизнеса [1, 2].

*Цель работы* – сформировать способ повышения эффективности городской инфраструктуры на примере улучшения системы зонирования городской территории МО «Рыбацкое».

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение и анализ действующего малого бизнеса на городской территории МО «Рыбацкое».
2. Выявления слабых мест наиболее популярных сфер малого бизнеса на городской территории МО «Рыбацкое».

Повышать эффективность использования городских территорий можно за счет инвестирования в малый бизнес. Одним из способов привлечения инвестиций является

поддержка государства: Президент России Владимир Путин заявил, что для России важно равномерно развивать эффективность городских территорий по всем регионам РФ [3, 4]. Для Эффективного использования городских территорий важно понимать, какими ресурсами обладает тот или иной участок. Также важно повышать эффективность комплексно, и чтобы были задействованы все ресурсы территории для эффективности данного процесса.

Для решения данной задачи был выбран город федерального значения Санкт-Петербург, благодаря его важному стратегическому положению в Северо-Западном федеральном округе России. Город обладает значительным промышленным потенциалом, занимая около 30% в общей структуре промышленности Северо-Западного региона РФ. Это обеспечивает наличие необходимой инфраструктуры и производственных мощностей для успешного развития малого бизнеса [5, 6].

Кроме того, Санкт-Петербург является одним из культурных центров России, что делает его привлекательным для туристов и способствует развитию сферы услуг. Однако, наряду с культурными ресурсами, город также обладает значительными земельными ресурсами, расположенными на его окраинах. Эти земли, ранее использовавшиеся преимущественно для промышленных нужд, в настоящее время нуждаются в обновлении и развитии, так как население города с каждым годом растет и с ним увеличивается кол-во спальных районов.

Одним из возможных решений данной проблемы может стать активное развитие малого бизнеса, направленного на эффективное использование данных территорий и улучшении качества жизни людей, проживающих на них. Малый бизнес способен обеспечить более рациональное использование земельных ресурсов, при этом создавая новые рабочие места и увеличивая налоговые поступления в городской бюджет. Районом, который застраивался и продолжает застраиваться рядом с промышленными объектами, является МО Рыбацкое.

Для повышения эффективности использования одного из участка этой территории предлагается инвестировать в развитие малого бизнеса, однако это должен быть отличный от действующих вид бизнеса, который сможет максимально эффективно использовать городское пространство, который будет пользоваться спросом у разного возрастного контингента и положительно влиять на различные сферы, а также в случае неудачи проекта потери должны быть минимальны. [7]. Структура малого бизнеса МО «Рыбацкое» представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структура малого бизнеса МО «Рыбацкое»

Был выбран участок (рис. 2) в МО «Рыбацкое», который находится в непосредственной доступности не только для местных жителей, но и для людей из соседних районов. Это очень важно для эффективного использования территории, так как позволяет развивать малый бизнес на этой территории. Кроме того, расширение территории за счет строительства новых жилых объектов в сторону Ленинградской области делает этот участок еще более привлекательным для бизнеса. Выбранный участок рекомендуется купить и разделить его на более мелкие участки, которые будут эффективно использоваться малым бизнесом.



Рис. 2. Объект исследования кадастровый номер 78:12:0721103:5

На данном участке предлагается разделить территории под сдачу по составленному договору аренды земли под малый бизнес для повышения эффективности городских территорий.

Одним из предлагаемых вариантов использования одного из участка является сдача его под питомник растений. В рамках этого предложения планируется проведение обязательной постоянной акции «Помощь природе», в рамках которой клиенты смогут вернуть выращенное в питомнике растение и получить за него полную стоимость.

Важным аспектом является проблема антропогенного воздействия на ландшафт, когда растения не могут приспособиться к условиям или не растут в определенных регионах. Питомник предлагает растения, адаптированные под конкретный регион, которые, благодаря своему развитию вне зоны питомника, получают определенный иммунитет. Таким образом, озеленение будет происходить не только на конкретном участке, но и в других районах. Это обеспечивает долгосрочный доход несмотря на то, что со временем деньги теряют свою стоимость, так как питомник будет получать доход от продажи каждого растения. Если же клиент возвращает растение, питомник получает новый товар для продажи.

Второй участок будет сдаваться под магазины для праздника, ведь праздники такие как «день рождения происходят каждый день», за счет этого у малого бизнеса будет стабильный доход от территории.

На третьем участке планируется построить хоккейную коробку, которая может быть преобразована в футбольное поле летом, и рядом магазин спортивного инвентаря. Это позволит сдавать каток в аренду зимой для массовых катаний и индивидуальных тренировок, а также сдавать футбольное поле в аренду летом для проведения тренировок и игр.



Таким образом, инвестирование средств в развитие малого бизнеса повысит эффективность использования городских территорий за счёт следующих факторов:

- аренда земельных участков: способствует развитию экономики муниципального округа, созданию рабочих мест и увеличению налоговых поступлений в бюджет субъекта федерации;
- питомник растений: способствует озеленению городских территорий, что в свою очередь позитивно влияет на качество городской среды, благоустройство рекреации, повышает общую привлекательность города как для жителей, так и для туристов;
- предприятия торговли: привлекают покупателей, привлекают дополнительные доходы за счёт налогов и увеличения экономической активности.
- спортивная площадка для хоккея с шайбой и футбольное поле: обеспечивают активный отдых для горожан, способствуют улучшению качества жизни и привлечению инвестиций в развитие городской инфраструктуры.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Свод правил 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89 (с изм. № 1, 2). – Москва, 2016.
2. Архитектура и градостроительство: Энциклопедия (РАСЫ) и (НИИТАГ) / под редакцией А.В. Иконникова. – М.: Стройиздат, 2001.
3. Белов М.И. Дизайн пешеходной улицы : учебное пособие для вузов / М.И. Белов, С.М. Михайлов, А.С. Михайлов [и др.] ; под редакцией С. М. Михайлова. – Казань : Дизайн-квартал, 2015.
4. Гейл Я. Города для людей / Ян Гейл ; перевод с английского А. Токтонов, М.: Кроет. –2012.
5. Градостроительство и территориальная планировка: понятийно-терминологический словарь / редакторский коллектив: Г.А. Потаев (ответственный редактор), И.А. Подо, К.К. Хачатрянц, А.И. Ничкасов. – Минск : Минсктиппроект, 1999.
6. Дизайн архитектурной среды : учебник для студентов вузов. – М.: Архитектура-С, 2005.
7. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elibr.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул.экрана.

УДК 728.22

И.В. Ямшанов, И.Р. Платц

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ТЕНДЕНЦИИ И ИННОВАЦИИ В РАЗВИТИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ

Многофункциональные жилые комплексы – это сложный градостроительный объект, который набирает все большую популярность в последние годы. Эти комплексы предлагают не только качественное жилье, но и целый спектр дополнительных услуг и инфраструктуры, создавая удобную и комфортабельную городскую среду для проживания.

Тенденции и инновации в развитии многофункциональных жилых комплексов находятся в фокусе внимания строительных и развитых компаний, поскольку они отражают потребности и ожидания современных горожан [1]. Сначала многофункциональные жилые комплексы были представлены как новый формат для решения жилищных проблем в городах, но с течением времени они стали гораздо более сложными и инновационными проектами [2].

Одной из основных тенденций в развитии многофункциональных жилых комплексов является интеграция различных типов объектов и услуг внутри одного комплекса [3]. Концепция «15-минутного города» представляет собой концепцию организации городского пространства таким образом, чтобы основные объекты и услуги были доступны для жителей

в пределах 15-минутной прогулки пешком или на велосипеде [4]. Этот подход направлен на создание более удобной, доступной и экологически устойчивой городской среды.

Уход от тотальной автомобилизации города, предлагаемый концепцией 15-минутного города, имеет ряд позитивных аспектов. Прежде всего, он способствует снижению автомобильного трафика, что уменьшает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и снижает уровень загазованности воздуха в мегаполисах. Это в свою очередь ведет к улучшению качества воздуха и снижению уровня шума в городе. Кроме того, создание условий для 15-минутной доступности основных объектов и услуг способствует сокращению пробок и времени, затрачиваемого жителями на перемещение по городу. Это повышает эффективность городской инфраструктуры, улучшает условия для пешеходов и велосипедистов, а также содействует развитию здорового образа жизни.

Таким образом, концепция 15-минутного города представляет собой перспективный подход к организации городского пространства, который способствует снижению автомобильного трафика, улучшению качества воздуха и сокращению времени, затрачиваемого на перемещение по городу, что в итоге приводит к созданию более устойчивой и приятной городской среды. Такие комплексы могут включать не только жилые здания, торговые центры, офисные помещения, спортивные сооружения, медицинские центры, образовательные учреждения, но и парки, скверы, торговые и культурные объекты, общественные пространства. Такая интеграция позволяет жителям многофункциональных жилых комплексов получить доступ ко всему необходимому в пределах своего жилищного пространства, без необходимости долгих поездок.

Второй важной тенденцией в развитии многофункциональных жилых комплексов является использование передовых технологий и инноваций для обеспечения комфорта и безопасности жильцов [5].

Умный ЖК представляет собой современное жилое пространство, оснащенное передовыми цифровыми технологиями и инфраструктурой, способствующей комфортному проживанию. Это объединение в себе не только высокотехнологичных решений, но и цифровой системы управления, которая обеспечивает жителей всеми необходимыми сервисами [6].

Управление всем комплексом происходит через специальное приложение, разделенное на две части: пользовательскую для жильцов и интерфейс для управляющей компании, который отвечает за сбор и обработку данных по работе инженерных систем. Такая дифференциация функционала позволяет эффективно решать задачи как для жильцов, так и для управляющей компании.

Цифровая система управления состоит из нескольких важных подсистем, включая систему жизнеобеспечения здания, которая включает в себя отопление, вентиляцию и водоотведение. Эта система обеспечивает жильцов комфортными условиями проживания и поддерживает жилой комплекс в исправном состоянии. Также в состав цифровой системы входит система управления и диспетчеризации зданий и оборудования. Она позволяет контролировать и отслеживать текущее состояние инженерных систем, что обеспечивает оперативное реагирование на любые проблемы или неисправности. Система автоматизации отдельной квартиры предлагает жильцам возможность управлять различными аспектами своего дома через цифровые устройства. Это может включать в себя управление освещением, температурой и безопасностью.

Безопасность и контроль доступа также являются важными аспектами цифровой системы умного ЖК. Системы видеонаблюдения, электронные замки и другие технологии обеспечивают безопасность жителей и защищают комплекс от несанкционированного доступа. Контроль инженерии в общественных местах, таких как лобби, парковка и

спортивные площадки, также осуществляется через цифровую систему, что помогает поддерживать эффективную работу и безопасность этих мест.

В современных многофункциональных комплексах все чаще уделяется внимание экологической устойчивости. Данная тенденция связана с парадигмой устойчивого развития, которая влияет на современные проекты, делая экологичность и энергоэффективность важными критериями качества. Фундаментальные принципы устойчивого строительства включают в себя планировочную и конструктивную эффективность, энергоэффективность, эффективное водопотребление, использование экологически эффективных материалов, оздоровление окружающей среды, оптимизацию эксплуатации и управление отходами. Эти принципы поддерживаются различными инженерными системами, играющими ключевую роль в повышении экологической устойчивости зданий. Также могут применяться зеленые насаждения и вертикальные сады для улучшения качества окружающей среды.

Технология «зеленых крыш» представляет собой инновационное решение в области строительства, которое активно используется для улучшения экологической ситуации в городах и оптимизации использования городского пространства [7].

Проектирование зеленых крыш включает в себя несколько ключевых аспектов. Во-первых, необходимо учитывать тип и состав почвы, который будет использоваться для выращивания растений. Важно выбирать такие растения, которые легко адаптируются к условиям на кровле, например, суккуленты или многолетние травы. Также важно предусмотреть систему дренажа и защиты от влаги, чтобы предотвратить возможные повреждения кровли.

Преимущества эксплуатации зеленых крыш разнообразны и значительны. Во-первых, они способствуют улучшению экологической среды в городах, поглощая углекислый газ, снижая температуру воздуха и улучшая качество воздуха. Кроме того, зеленые крыши снижают энергопотребление здания за счет естественной изоляции, предоставляемой растениями и почвой. Они также способствуют замедлению стока дождевых вод, что снижает нагрузку на городскую канализационную систему и риск возникновения наводнений.

В целом, зеленые крыши представляют собой эффективное и инновационное решение для улучшения экологической ситуации в городах и повышения энергоэффективности зданий. Они обладают множеством преимуществ, как экологических, так и экономических, и могут успешно интегрироваться в городскую застройку с правильным проектированием и управлением.

Применение этой технологии в городской застройке способствует уменьшению объема ливневого стока, улучшению качества воды и снижению негативного воздействия дождевых вод на окружающую среду [8, 9].

Таким образом, данные тенденции и инновации в развитии многофункциональных жилых комплексов свидетельствуют о стремлении современных городов к созданию устойчивых и комфортных городских пространств, объединяющих жилье, инфраструктуру, услуги и общественные пространства. Интеграция инновационных технологий, зеленых и умных решений, а также ориентация на удовлетворение потребностей жителей позволяют создавать современные жилые комплексы, способствующие повышению качества жизни и развитию городской среды в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Зиятдинов З.З. Градостроительные тенденции формирования многофункциональных жилых комплексов / З.З. Зиятдинов, Е.С. Долбнина // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 1(44). – С. 173–181. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wigsyh> (дата обращения: 06.03.2024)
2. Рябова М.Г. Эволюционирование многофункционального жилого дома-комплекса как градостроительной единицы // Строительство и техногенная безопасность. 2014. №51. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsionirovanie-mnogofunktsionalnogo-zhilogo-doma-kompleksa-kak-gradostroitelnoy-edinitsy> (дата обращения: 06.03.2024).
3. Гошева Д.М. Современные тенденции в проектировании многофункциональных жилых комплексов / Д.М. Гошева, Е.В. Ирманова // Академическая публицистика. – 2018. – № 11. – С. 259–268. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yprsm1> (дата обращения: 06.03.2024).
4. Нотман Ольга Валерьевна Концепция 15-минутного города как основа устойчивой модели развития мегаполиса в условиях современных рисков // Урбанистика. 2021. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-15-minutnogo-goroda-kak-osnova-ustoychivoy-modeli-razvitiya-megapolisa-v-usloviyah-sovremennyh-riskov> (дата обращения: 06.03.2024).
5. Ушкова К.А. Внедрение системы "умный дом" в эксплуатацию многоквартирных домов / К.А. Ушкова // Colloquium-Journal. – 2019. – № 13-2(37). – С. 231–232. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38533087> (дата обращения: 06.03.2024).
6. Гайдаров М.Р. Жилой комплекс с применением умных технологий / М. Р. Гайдаров // Инновационные технологии в строительстве и ЖКХ – основа формирования городской среды : сборник статей научно-практической конференции, проведенной в рамках студенческого конкурса «Строим новый город», Волгоград, 22–28 апреля 2020 года / Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2020. – С. 141-143. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43857529> (дата обращения: 06.03.2024).
7. Саид А.Н., Логинова П.А., Леонова А.Н. Зеленая кровля – особенности проектирования и преимущества эксплуатации // Бюллетень науки и практики. 2019. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenaya-krovlya-osobennosti-proektirovaniya-i-preimuschestva-ekspluatatsii> (дата обращения: 06.03.2024).
8. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
9. Сысоева Е.В. Влияние «зеленых» крыш на снижение ливневых стоков / Е.В. Сысоева, А.В. Богачев // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2023. – № 2(42). – С. 81–89. – DOI 10.21869/2311-1518-2023-42-2-81-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53841555> (дата обращения: 06.03.2024).

УДК 711

Ц. Чжао, М.А. Романович  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ЗЕЛЕННЫХ УМНЫХ ГОРОДОВ

Зеленый умный город – это сочетание зеленого города и умного города, основанное на концепции устойчивого развития, предусматривающей гармоничное сосуществование человека и природы, использование больших данных, искусственного интеллекта и других видов информационных технологий для содействия зеленой трансформации города и низкоуглеродного развития, с целью построения сетевого, интеллектуального, экологичного зеленого города [1].

В июле 2022 года Китайская национальная комиссия по развитию и реформам (NDRC) опубликовала «14-й пятилетний план реализации новой урбанизации», в котором подчеркивается цель достижения высококачественного развития урбанизации и создания пригодных для жизни, устойчивых, инновационных, умных, зеленых и гуманистических городов. В новую эпоху экономический рост Китая вошел в новое русло, зеленые и умные города являются важным направлением будущего развития городов и неизбежным требованием для устойчивого экономического и социального развития. Чжэнчжоу, как город второго уровня с быстрым развитием и выдающимися достижениями, стал типичным образцом для наблюдения за развитием умных городов в Китае.



Однако город Чжэнчжоу сталкивается с множеством проблем и противоречий в вопросах экономического развития, городского управления и социального управления, и «зеленая» трансформация неизбежна. Кроме того, в городе Чжэнчжоу находится первая в Китае сеть скоростных железных дорог в форме «двойного креста», которая является национальным комплексным транспортным узлом со сложными связями между соседними городами и значительными различиями в развитии между городами. Взяв за основу исследования ситуации с городским развитием в городе Чжэнчжоу, авторы статьи разработали комплексную систему оценочных показателей для зеленых умных городов, что может способствовать озеленению и многостороннему развитию китайских городов того же типа.

В 1930 году Корбюзье (Corbusier L.) выдвинул концепцию зеленого города в планировании «города света», в которой подчеркивается необходимость увеличения площади городских зеленых насаждений, чтобы достичь гармоничного единства природы и города [2]. В 1990 году Дэвид Гордон (Gordon D.) исследовал путь экологии городского пространства в своей книге «Зеленый город» [3]. До сих пор академические исследования зеленых городов были в основном сосредоточены на введении теоретических концепций [4] и методах измерения [5]. Среди них методы измерения в основном включают модель Super-SBM [6] и построение комплексной системы индексов оценки. После 2011 года программы строительства умных городов появились в 12-м пятилетнем плане различных регионов Китая, и с тех пор количество пилотных проектов умных городов постоянно растет. В настоящее время ученые достигли больших результатов в области типологии умных городов [7], практической ценности, оптимизации рисков информационной безопасности и идей [8].

Основываясь на литературных результатах предыдущих ученых и сочетая коннотацию зеленого умного города, а также фактическую ситуацию в городе Чжэнчжоу, в данной работе построена комплексная система показателей оценки зеленого умного города в городе Чжэнчжоу (см. рис. 1).

В данном исследовании зеленый умный город разделен на два показателя – «зеленый» и «умный». В настоящее время исследования по измерению показателей зеленого города являются относительно зрелыми, большинство ученых используют модель Super SBM для измерения эффективности зеленого развития города, а некоторые ученые построили комплексную систему индексов оценки зеленого развития города с точки зрения социально-экономического озеленения и экологического озеленения, но вышеуказанные исследования пренебрегли ключевым показателем, например, такими, как «углеродный след». Поэтому в данной работе добавлены показатели «интенсивность выбросов углекислого газа» и «выбросы углекислого газа на душу населения» [9, 10].

Зеленый город разделен на три части: зеленое производство, зеленая жизнь и зеленая экология, которые содержат 21 показатель, чтобы более полно отразить текущую ситуацию зеленого развития в Чжэнчжоу. Умный город сам по себе является сложной системой, которая в основном поддерживается информационными технологиями и коммуникационными технологиями для построения новой формы города. Учитывая доступность данных, в данной работе построена комплексная система индексов оценки с точки зрения «движущей силы» умных городов, включающая умные объекты, таланты, умные технологии и умные отрасли в четырех аспектах с 16 показателями. Среди них «умные объекты» – основная движущая сила развития «умных городов», в основном включающая Интернет и количество колледжей и университетов. «Умные таланты» – эндогенная движущая сила развития «умных городов», в основном включающая количество студентов колледжей и количество научных сотрудников. «Умные технологии» – непосредственная движущая сила развития «умных городов», в основном включающая количество патентов и разрешенных патентов, расходы на науку и технику. «Умная промышленность» – основная движущая сила развития «умных городов», в основном включающая телекоммуникации, почтовую службу и цифровую промышленность.

Умная промышленность – это основная движущая сила развития умных городов, которая включает в себя телекоммуникационную, почтовую и цифровую финансовую отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Xu L, Wang D, Du J. Spatial-temporal evolution and influencing factors of urban green and smart development level in China: Evidence from 232 prefecture-level cities[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022 (19):3939.
2. Corbusier L. The Radiant City: Elements of a Doctrine of Urbanism to Be Used as the Basis of our Machine-Age Civilization [M]. New-York : The Orion Press, 1967.
3. Gordon D. Green Cities: Ecologically Sound Approaches to Urban Space [M]. Black Rose Books, 1990.
4. Раппопорт А.В. От зелени в городах к зелёным городам // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития. 2018. С. 151–155.
5. Brilhante O, Klaas J. Green city concept and a method to measure green city performance over time applied to fifty cities globally: Influence of GDP, population size and energy efficiency [J]. Sustainability, 2018 (10) : 2031
6. Gökgöz F, Erkul E. Investigating the energy efficiencies of European countries with super efficiency model and super sbm approaches [J]. Energy Efficiency. 2019. С. 601–618.
7. Kim J. Smart city trends: A focus on 5 countries and 15 companies [J]. Cities, 2022(123): 10355.
8. Liu Y, Wei J, Rodriguez A.F.C. Development of a strategic value assessment model for smart city [J]. Int J Mob Commun, 2014(12):346–359.
9. Брайла Н.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Попова О.Н., Цветков О.Ю., Шарманов В.В. Правовое обеспечение землеустройства и кадастров: учебное пособие // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2021 – [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr21-4.pdf>. – Загл. с титул. экрана.
10. Зарубежный и отечественный опыт и перспективы развития низкоуглеродных городов // Друкерровский вестник. 2020. С. 239–257.

УДК 711.58

А.С. Короткова, А.А. Константинова, А.А. Избасарова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ВИЗУАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ ГОРОДОВ МУРИНО И КУДРОВО

*Целью работы* является оценка визуальной экологии в г. Мурино и г. Кудрово Ленинградской области.

Визуальное загрязнение является крупной проблемой современных городов [1]. Большое количество рекламных щитов, пестрых и однотипных фасадов новостроек, «каменные джунгли» засоряют зрительное пространство человека. Данному понятию можно дать следующее определение: визуальное загрязнение (шум) – это визуальные параметры городской среды, влияющие на восприятие человека негативным образом, вызывающие отрицательные отзывы и эмоции [2].

В данный момент имеется тенденция на переезд населения из поселков городского типа, городов с небольшим населением в большие города, вследствие чего возникает потребность в строительстве большого количества жилой площади. Из-за этого, а также по причине финансовых проблем, качество новостроек становится все хуже: необходимо за короткое время обеспечить большой приток людей дешевой жилой площадью. Отсутствие достаточного количества пространства для строительства новых жилых комплексов в пределах города способствует возникновению новых маленьких городков в областях по соседству с мегаполисами.

Архитекторы и урбанисты все меньше уделяют внимание визуальному качеству домов и городов. В вышеупомянутых маленьких городках практически отсутствуют ландшафтные составляющие: парки, аллеи и зеленые насаждения. При этом, имеется множество гомогенных

и агрессивных полей: плоские и монотонные фасады зданий, заборы, переснащённые информацией поверхности, переизбыток элементов и др. [3]. Все эти факторы связаны с изменениями набора конструктивных элементов: предпочтения отдаются прямым линиям и углам, большим однотипным плоскостям. Понижение качества визуального окружающего пространства человека влечет за собой возникновение проблем социального типа, роста психических и физиологических заболеваний [4].

В качестве примера возьмем г. Кудрово (рис. 1) и г. Мурино (рис. 2) в Ленинградской области.



Рис. 1

Восприятие образа городской среды выявляется не только в индивидуальных архитектурных решениях, но также и в субъективной оценке жителей [5]. Многие жители и гости этих городов отмечают недоразвитость инфраструктуры и благоустроенности городов. На рис. 1 (г. Кудрово) и рис. 2 (г. Мурино) можно заметить отсутствие парковых зон и зеленых насаждений, нагромождение однотипных жилых комплексов в преимущественно коричневых и бежевых оттенках.

Ландшафтный дизайн способен повысить художественную выразительность архитектурных комплексов, смягчить однообразие и простоту застройки, а также создать благоприятные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия [6].

Существуют различные критерии оценки визуальной экологии. Можно выделить три основных показателя для проведения оценки: объективный, субъективный и методологический. К объективному относятся физические характеристики среды, субъективному – особенности восприятия ее субъектом, методологическому – способы получения данных [7].

Для формализации и удобства оценки экологичности архитектурно-пространственных решений можно взять за основу выделение следующих критериев [8, 9]:

1. Идентификация места (исторические и культурные особенности, климат, окружающая среда);
2. Пространственные формы застройки;
3. Транспортно-пешеходную сеть;
4. Природно-исторический ландшафт.

Относительно данных пунктов можно сделать вывод, что рассматриваемые города имеют малую экологичность: г. Мурино и г. Кудрово не имеют исторических или культурных особенностей, окружающая застройка типична и однообразна, в городах слабо развита транспортная сеть, за их границами начинаются заросшие и пустые поля.

Еще одна методика оценки визуальной экологичности города – анализ визуального шума. Визуальный шум можно разделить на 4 категории и присвоить им следующие индикаторы [2, 10]:



Рис. 2.



1. Реклама, размещенная на зданиях, сооружениях или специальных временных конструкциях. Индикаторы: размер, качество, внешний вид, актуальность, наличие звуковых эффектов, место размещения.

2. Архитектурный объект, его форма, цвет, размер, видимость коммуникаций и наличие инфраструктуры. Индикаторы: этажность здания, точечность застройки, повторяемость, монотонность, цветовое оформление, качество фасадов.

3. Освещение, создаваемое объектами нефункционального назначения. Индикаторы: яркость, мерцание, изменяемость цвета, место размещения.

4. Ландшафт местности, а именно наличие озеленения и водоемов.

По этим характеристикам исследуемые города также получают низкую оценку визуальной экологичности: в каждом из них имеются перенасыщенные разноцветными, яркими, рекламными вывесками фасады зданий (пример – бульвар Менделеева в г. Мурино), большое количество монотонных плоских фасадов, отсутствие водоемов и красивых ландшафтных видов.

В результате работы можно сделать *вывод*, что г. Мурино и г. Кудрово Ленинградской области имеют низкую оценку визуальной экологии по многим критериям. Для улучшения ситуации необходимо озеленить данные города: добавить парки, аллеи, а также снизить уровень визуального шума.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Канунникова П.А. Визуальная экология ПГТ Шушенского в пределах новостроек // E-Scio. 2022. №1 (64).
2. Горошко Ю.Д., Горбенкова Е.И., Квасова Т.А., Мацур А.В. Критерии оценивания визуального шума в городской среде // Скиф. 2022. №7 (71).
3. Дубов И.А., Рашевский Н.М., Янин К.Д., Галынина П.Ю. Подходы к сбору информации для формирования модели знаний визуальной экологии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. №2 (40).
4. Шаймарданова К.А. К вопросу о влиянии визуальной среды города на состояние человека // Известия КазГАСУ. 2020. №2 (52).
5. Димитриади Е.М., Сапанжа О.С. Визуальная урбанистика: определение, понятия, проблемы // Вестник ЧГАКИ. 2021. №2 (66).
6. Францева Т.П., Черняева А.А., Чернышева Н.В., Осепян Я., Стрельников В.В. Агрессивная визуальная среда как один из негативных факторов в социальной экологии // Научный журнал КубГАУ. 2022. №176.
7. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
8. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
9. Капцевич О.А. Психологические эффекты визуального восприятия городской среды: систематический обзор // Психология. Журнал ВШЭ. 2021. №3.
10. Баженова Е.С. О критериях оценки «экологичности» архитектурно-пространственной составляющей территорий индивидуальной застройки // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2022. №1.

УДК 711.168

К.И. Родригес Гомес, И.В. Ямшанов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО КВАРТАЛА ПО УЛИЦЕ ЕЛЕНИНСКОЙ В ГОРОДЕ ЛОМОНОСОВЕ

В южной части города Ломоносов расположена Еленинская улица – дорога длиной всего 900 м, на которой были построены здания, имеющие сегодня большую историческую

ценность, среди которых выделяются деревянные постройки, датируемые XIX веком. Это достопримечательности, которые, безусловно, ценились не только в городе Ломоносове, но и в разных регионах России, поскольку они сохранились до сегодняшнего дня и придают Еленинской улице особую историко-архитектурную ценность.

При этом важно отметить, что в Ломоносове, в пятнадцати минутах езды от Еленинской улицы, находится монументальный комплекс Ораниенбаум – комплекс дворцов, зданий и императорских садов. Совпадение существования обоих объектов представляет собой хорошую возможность повысить туристическую ценность района, главным образом в интересах Еленинской улицы.

В настоящее время самой большой проблемой этой улицы является несоответствие архитектурных стилей и масштабов зданий и элементов, существующих на улице и влияющих на историческую атмосферу этого места (рис. 1).

*Цель работы* – на основе градостроительного анализа (объекта) дать представление о Еленинской улице и ее потенциале, чтобы заложить основы для будущей разработки предложения по реконструкции города.

*Материалы и методы:* Проект был выполнен на основе теоретических методов исследования и анализа визуального материала, полученного во время натурного обследования ул. Еленинской.

Процесс исследования начался с поиска и сбора релевантной информации в интернете; такие данные, как рост населения, экономическая ситуация и занятость в районе, типы землепользования, история зданий и города, были получены с официальных сайтов государственных и архитектурных учреждений Санкт-Петербурга, а также в результате изучения статей и трудов, посвященных Еленинской улице и объектам, которые ее образуют. Также использовались такие цифровые инструменты, как Яндекс Карты, Google Maps и Google Earth.



Рис. 1. Расположение основных объектов на Еленинской улице

Вторым этапом этого процесса стало посещение объекта. Во время этого визита можно было наблюдать реальное состояние Еленинской улицы в настоящее время, масштаб объектов, входящих в ее состав, а также атмосферу места и его окрестностей. Состоялась экскурсия по главным и второстепенным улицам города Ломоносова, в ходе которой были посещены основные туристические достопримечательности. Были сделаны фотографии зданий, а также их элементов и деталей, расположенных в объекте исследования.

#### *Задачи исследования:*

1. Сбор и анализ социальных данных о зданиях и объектах в квартале;
2. Разработка графического материала по результатам анализа данных;
3. Формулировка выводов.

#### *Результаты.*

История. Еленинская улица возникла в последнее десятилетие XVIII века и была известна как "Нагорóдная улица", так как шла вдоль горы. Официально в 1869 году улица получила свое нынешнее название в честь великой княгини Елены Павловны, которой принадлежал Ораниенбаум. После революции она была переименована в Ленинскую, в честь вождя В.И.Ленина, и только в 1998 году вновь обрела то название, под которым известна сегодня [1, 2].

Анализ текущего состояния. Посетив объект и ознакомившись с литературными материалами, произведен анализ нынешнего состояния, названный SWOT. Среди "Сильных сторон (S)" Еленинской улицы: 1. расположение вблизи важных туристических объектов и у Финского залива, 2. уникальная архитектура, 3. хорошее дорожное сообщение; среди "Слабых сторон (W)" – недостаточный уход за зданиями и коммерческая неактивность; с другой стороны, "Возможности (O)", которые выделяют Еленинскую улицу, – наличие пространств, подходящих для реставрации, заинтересованность государства в проведении инвестиций. И, наконец, "Угрозы (Т)", воздействующие на район: сокращение численности населения Ломоносова, снос исторических зданий и возможное их разрушение, а также интерес к новому строительству в современном архитектурном стиле на месте утраченных памятников архитектуры [3, 4].

Второй инструмент городского анализа – "Образ и характер", который используется для определения местоположения и визуализации архитектурных элементов, расположенных вдоль Еленинской улицы, и их актуальности. На основе этой информации была составлена таблица или инвентаризация с указанием существующих элементов и их текущего состояния.

Из 22 объектов на дороге тринадцать являются историческими зданиями, которые необходимо сохранить, и (или) зданиями, которые находятся в хорошем состоянии и соблюдают архитектурный язык, семь – современными зданиями, архитектура которых не вписывается в исторический характер, и два – историческими зданиями в плохом состоянии, которые необходимо отреставрировать [5–7].

Инструмент "Образ и характер" также указывает на окружающие пространства и зоны, которые добавляют ценность, например, по обеим сторонам Еленинской улицы находятся важные зеленые зоны отдыха.

Анализ землепользования, третий инструмент городского анализа, показывает, что преобладающим видом землепользования по обеим сторонам улицы является «зелено-рекреационный», за ним следует «малоэтажный или среднеплотный жилой», на третьем месте – «многофункциональный» (состоящий из среднеэтажных зданий, первый этаж которых предназначен для коммерческого использования). Еще одна типология – «Институциональная», с церквями и больницами.

Также при осмотре участков и улиц, прилегающих к Еленинской улице, было зафиксировано значительное количество нежилых зданий, находящихся в руинах или в плохом состоянии.

С точки зрения экономического и социального положения, Ломоносов является важным транспортным узлом благодаря своему расположению на берегу Финского залива, а также крупным производителем строительных материалов, химикатов и пищевой промышленности. Численность населения остается неизменной на протяжении последних 30 лет: в период с 2010 по 2020 год она составит 42–43 тыс. человек, а в 2023 году уменьшится до 39 000.

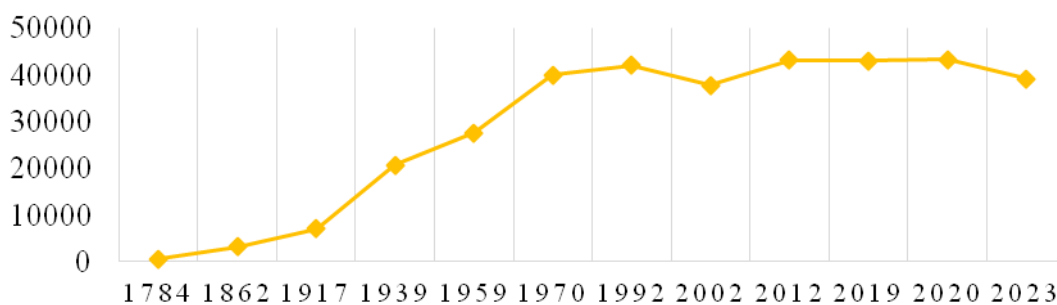


Рис. 2. Динамика численности населения объекта исследования

*Выводы.* Еленинская улица имеет потенциал стать важным туристическим объектом в Ломоносове и Санкт-Петербурге. Она также повысит экономическую и туристическую ценность Ломоносова.

Необходимо предложить реконструкцию и реставрацию фасадов тех зданий, которые находятся в плохом состоянии или чей архитектурный облик не соответствует цели сохранения исторической атмосферы Еленинской улицы.

Необходимо увеличить коммерческую и туристическую активность в Ломоносове, а также улучшить жилищные условия, учебные и институциональные услуги.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Citywalls. Архитектурный сайт Санкт-Петербурга. Заглавие с экрана. <https://www.citywalls.ru/> (дата обращения: 06.03.2024).
2. Еленинская\_улица\_(Ломоносов). Википедия. (2023). Заглавие с экрана. <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/>
3. Две утраченные деревянные дачи в Ломоносове не хотят воссоздавать. Канонер. (3 декабря 2015 г.). Заглавие с экрана. <https://kanoner.com/2015/12/03/148135/> (дата обращения: 06.03.2024).
4. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
5. ТАМ! Путешествуй рядом с Петербургом. (13 августа 2021 г.). Еленинская улица в Ломоносове: в прошлое на час. Заглавие с экрана. <https://tamtravel.ru/>. (дата обращения: 06.03.2024).
6. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
7. Федеральная Служба Государственной Статистики. Заглавие с экрана. <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 06.03.2024).

УДК 711.168

К.И. Родригес Гомес, И.В. Ямшанов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ТИПОЛОГИИ АРХИТЕКТУРНЫХ СТИЛЕЙ НА ЕЛЕНИНСКОЙ УЛИЦЕ В ЛОМОНОСОВЕ

Реконструкция Еленинской улицы является важным проектом для повышения туристического потенциала района. В рамках разработки предложения по восстановлению исторической атмосферы Еленинской улицы необходимо провести анализ выявленных архитектурных типологий и, таким образом, принять решение о стиле (стилях), который будет использован при реконструкции зданий, требующих этого.

*Материалы и методы:* Проект был выполнен на основе теоретических методов исследования и анализа визуального материала, полученного во время посещения территории. Кроме того, были разработаны 2D и 3D чертежи для правильной визуализации зданий и деталей их фасадов.

Для создания 3D зданий использовались инструменты Autocad 2D для прорисовки фасадов и Rhinoceros для создания объемности на основе фотографий, сделанных во время обследования объекта, и геолокационных программ, таких как Яндекс Карты [1, 2].

Задачи исследования:

1. Перечислите и классифицируйте архитектурные объекты, фасады которых необходимо реконструировать;
2. Оценить архитектурные стили, которые будут использованы для реконструкции.

*Результаты.* Вдоль Еленинской улицы расположено около тридцати одного архитектурного объекта с различными архитектурными характеристиками, внешний вид и объем которых оказывает влияние на атмосферу исследуемой улицы. В данной статье эти характеристики будут описаны с целью выявления их общих качеств, и различий (того, что сочетается, а что нет) [3, 4].

Итак, по порядку: экскурсия начинается с пересечения Еленинской улицы и главного парка, где находится памятник «Стела города воинской славы Ораниенбаума – Ломоносов», прямо – здание «реконструкторской» архитектуры (Еленинская, 33) конца XX века (стиль которого напоминает «реконструктивистский») [5, 6]. Он напоминает стиль барокко, использовавшийся во дворцах при Петре I, рисунок 1. Далее в этом направлении расположены две «хрущевки», строгая бруталная архитектура которых контрастирует и дисгармонирует с окружением, а пропорции – широкие пятиэтажные здания – контрастируют с историческими объектами в два-три этажа. После пересечения с улицей Ломоносова здания «Дом Волкова» и «Краеведческий музей Ломоносова», построенные из разных строительных материалов, в своем облике сочетают элементы псевдоготики и северного модерна и обращены друг к другу в одной точке Еленинской улицы 26 и 25. Они являются одними из главных достопримечательностей улицы [7].

Далее расположены два больших здания, относящиеся к разным временам, но чьи объемы не противоречат друг другу. Это жилой дом 24К2 – современное здание с крышей с перилами, немного напоминающее парижские и выполненное в современном строгом стиле, и торговое здание 24, перестроенное несколько лет назад в стиле "ренессанс" и отличающееся набивкой стен.



Рис. 1. Фронтальный вид жилого здания

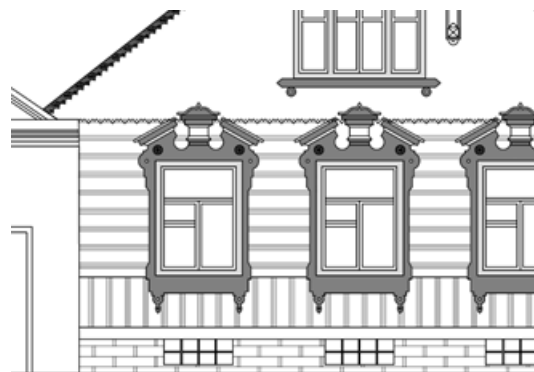


Рис. 2. Детали фасада Дома адмирала Анжу

Экскурсию продолжает «Дом адмирала Анжу» (Еленинская улица, 20–22) – один из самых характерных объектов Еленинской улицы. Это жилой дом, построенный в середине XIX века, с эклектичной архитектурой, готическими деталями и покатыми крышами, характерными для исторической атмосферы, которую он стремится воссоздать. Напротив расположено торговое здание на Еленинской улице, 19, современной архитектуры в духе конструктивизма и внушительного масштаба. Это здание выделяется наибольшим контрастом в этом районе, так как оно объемное, крепкое, а в его ближайшем окружении находятся лишь

небольшие объекты, одно- или двухэтажные деревянные дома. На следующих двухстах метрах, преимущественно по левой стороне дороги, расположены мелкие и разрозненные объекты, в том числе группа из десяти строений Центральной больницы Ломоносовского района, пять из которых – деревянные постройки середины XIX века, а остальные – каменные или кирпичные. Они органично распределены вдоль улицы, и все являются одно- или двухэтажными объектами.

Последние триста метров Еленинской улицы занимают здания, построенные в период с последнего десятилетия прошлого века по начало нынешнего, более масштабные и выполненные в современном архитектурном стиле с классическими деталями, такими как карнизы и фронтоны (Еленинская улица, 4 и 12). Эти здания отстоят друг от друга, поэтому их восприятие не столь агрессивно по отношению к пешеходу. На последнем участке также находятся «Спиридоновская церковь» и «Главное здание бывших дворцовых конюшен», представляющие большую историческую ценность: первая – из-за своего возраста, стиля и системы строительства, а вторая – из-за того, что является частью сооружений, относящихся к Ораниенбаумскому дворцу.

Еще одним элементом, влияющим на восприятие объектов на Еленинской улице, являются ограждения по периметру. На некоторых участках дороги – всего около 200 м – забор выполнен из непрозрачного металлического материала, что не позволяет разглядеть объекты за ним. В других местах вдоль дороги установлены ограждения из декоративного железа, которые, несомненно, позволяют посетителям наблюдать за архитектурой объекта и служат для защиты собственности.

Словом, из всех объектов на Еленинской улице выделяются те, что имеют небольшие размеры, выполнены из дерева и имеют классические русские дачные детали. Значимость Еленинской улицы в том, что, несмотря на различные по объему объекты, историческая атмосфера прослеживается на отдельных участках. Конечно, этот образ меняется по мере продвижения по улице, и для проекта важно установить (более) единый ритм, когда объекты, архитектура которых не соответствует, реконструируются для общей гармонии. Всего на улице Ломоносова планируется отреставрировать фасады не менее семи объектов.

*Выводы.* Преобладает архитектура небольших пропорций, объемы до трех уровней, выполненные из дерева и даже кирпича (Еленинская 13, 14, 16, 20-22, 25, 26);

Здания более крупных пропорций имеют классическую архитектуру, присутствуют такие элементы, как наличники, карнизы, симметрия (Еленинская 1, 18, 24);

Есть современные здания, фасады которых определенным образом гармонируют с остальными зданиями, вмешательство в их фасад должно быть минимальным или вообще отсутствовать (Еленинская 12, 2/10);

Есть здания современной архитектуры, фасад которых должен быть реконструирован (Еленинская 19, 29, 24К2, 31).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Citywalls. Архитектурный сайт Санкт-Петербурга. Заглавие с экрана. <https://www.citywalls.ru/> (дата обращения: 06.03.2024).
2. Еленинская\_улица\_(Ломоносов). Википедия. (2023). Заглавие с экрана. <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/>
3. GradPetra. Заглавие с экрана. <https://history.gradpetra.net/prospekt/30/1203-11.html> (дата обращения: 06.03.2024).
4. Tsvetkov O., Simankina, T., Karmokova, K. Video-ecological coefficient of real estate objects / E3S Web of Conferences Volume 91, 2 April 2019.
5. ТАМ! Путешествуй рядом с Петербургом. (13 августа 2021 г.). Еленинская улица в Ломоносове: в прошлое на час. Заглавие с экрана. <https://tamtravel.ru/>. (дата обращения: 06.03.2024).
6. Bobkov A.V., Czvetkov O.Yu. Russia in the Asian – Pacific region: the scientific and technical policy's activization necessity / European journal of natural history. № 2, 2010 / P. 34.
7. Яндекс карты. Заглавие с экрана. <https://yandex.ru/> (дата обращения: 06.03.2024).

## ЦЕМЕНТНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

*Цель работы* – рассмотрение критериальных реологических характеристик и методов их определения, анализ существующих смесей.

В настоящее время аддитивные технологии находятся в постоянном процессе развития. Основное внимание уделяется сокращению времени строительства, продлению срока эксплуатации конструкций, экономии трудовых и рабочих ресурсов, а также увеличению экономической эффективности. Большое внимание также уделяется сохранности окружающей среды и повышению безопасности на производстве.

Аддитивные технологии в строительстве развиваются с каждым днем, главный принцип данной технологии в послойном нанесении слоев бетонной смеси.

На данный момент все еще очень остро стоит ряд проблем, таких как: нормативно-правовые документы, архитектурно-конструктивные, эксплуатационные и физико-механические свойства.

Эффективность и технологичность строительной печати зависит от возможности регулирования характеристик смесей: пластичность, формоустойчивость, скорость твердения и структурообразования.

Общие требования к смесям:

– Вязкость и текучесть – смесь должна удерживать форму печатаемого объекта, но в то же время быть достаточно текучей для прохождения через сопло печатающего устройства. Для определения структурной вязкости бетонной смеси обычно применяют вискозиметр, основанный на принципе «капиллярного» истечения. Для оценки пластичности и способности к экструзии вязко-пластичной смеси определяют предел текучести при сдавливании непосредственно после ее изготовления. Для этого производят сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с, так как при данной скорости проведения испытаний наиболее адекватно моделируется поведение системы в процессе экструзии [1].

– Скорость отверждения – сроки схватывания должны протекать достаточно быстро после нанесения, чтобы обеспечить стабильность конструкции и избежать деформаций

– Механические свойства и адгезия между слоями, отсутствие усадочных деформаций – изделие должно обладать необходимыми механическими характеристиками, такими как прочность, устойчивость к воздействию воды и другим агрессивным средам.

– Легкость и формоустойчивость – смесь должна быть легкой для облегчения процесса печати, но при этом обеспечивать достаточную прочность и устойчивость к внешним воздействиям. Для оценки формоустойчивости производит сдавливающий тест при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с, что соответствует нагрузке при работе строительного принтера. Либо формоустойчивость можно определять с помощью максимальной высоты печатаемого образца без технологических перерывов до достижения им критического состояния [2].

– Экологическая безопасность – материалы, входящие в смесь, должны быть экологически безопасными и не содержать вредных веществ.

Процесс 3D-печати можно разделить на 4 основных стадии, для каждой из которых важны различные параметры, рисунок 1.

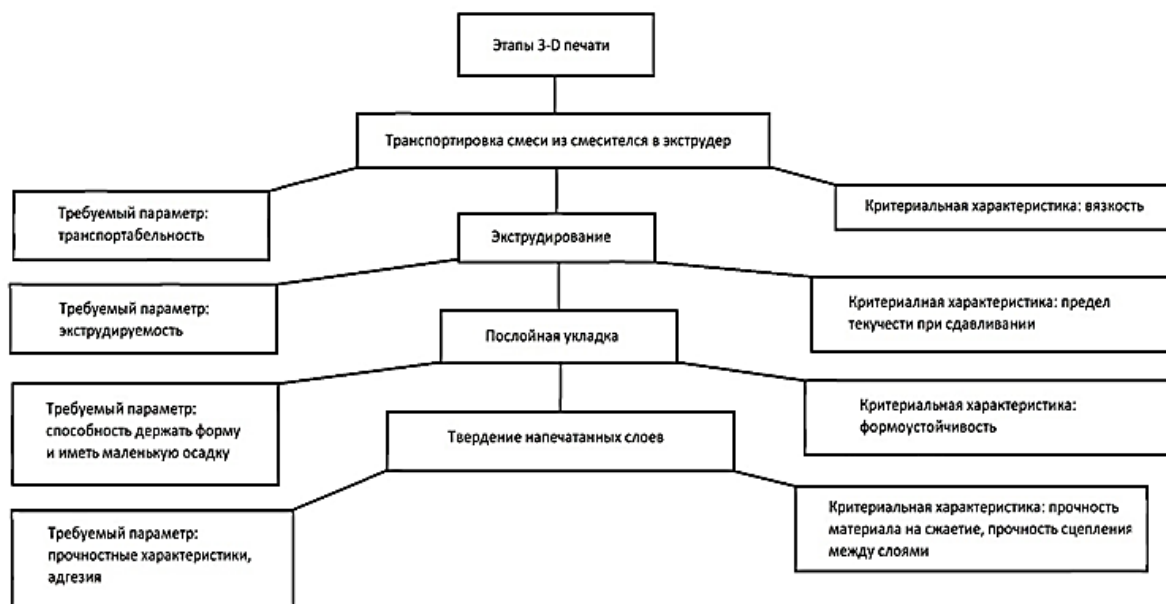


Рис. 1. Схема этапов 3-D печати, требуемых параметров и критериальных характеристик

На данный момент уже существует большое количество составов на основе цемента, и со временем их появляется все больше. Каждый раз задачей является снижение расхода портландцемента, суперпластификатора в сырьевой смеси для строительной 3D-печати в технологии аддитивного производства, повышение формоустойчивости и обеспечение отсутствия дефектов в виде разрывов напечатанных слоев из сырьевой смеси с возможностью ее экструдирования на строительных 3D-принтерах, реализующих метод послойного экструдирования, снижение усадочных деформаций, водопоглощения, повышение предела прочности при изгибе затвердевших композитов, напечатанных на 3D-принтере (без использования форм). Все составы имеют примерно одинаковые по материалам и их соотношениям. Для анализа было взято 6 составов, таблица 1.

Таблица 1 – Составляющие компоненты и их соотношение выбранные для исследования

	1 состав	2 состав	3 состав	4 состав	5 состав	6 состав
Портландцемент ЦЕМ I 42,5, %	20,0–23,0	20,0–23,0	20,0–23,0	20,0–23,0	20,0–23,0	20,0–23,0
Кварцевый песок, %	62,34–65,78	62,15–65,68	62,34–65,78	60,54–63,99	60,64–64,20	59,14–62,22
Суперпластификатор, %	0,20–0,23	0,20–0,23	0,20–0,23	0,21–0,24	0,20–0,23	0,20–0,23
Вода, %	12,010–12,118	12,110–12,308	10,010–12,118	12,690–12,808	12,480–12,708	12,359–13,018
Добавки, %	2,010–2,312	2,010–2,312	2,010–2,312	2,110–2,412	2,110–2,412	2,110–2,412

Введение тонкомолотых пуццолановых компонентов – биокремнезема, диатомита, метаксаолина позволяет улучшить формуемость бетонной смеси за счет обеспечения связности, однородности и пластичности, что способствует получению затвердевших композитов, напечатанных на 3D-принтере, с пониженными усадочными деформациями и отсутствием на них дефектов. Применение метилсиликоната натрия «ГКЖ-11Н», полифенилэтоксисилоксана «ФЭС-50», эфир полисилоксана «MasterPel 793» позволяет снизить водопоглощение затвердевших композитов, за счет придания стенкам капилляров и пор водоотталкивающей способности. Применение суперпластификаторов «MasterPozzolith 55», «MasterGlenium 115», «MasterPel 793», «Реламикс ПК», «Полипласт СП-1» на основе



поликарбоксилатных эфиров позволяет сократить количество воды затворения, повысить плотность смеси и физико-механические характеристики затвердевшего композита при одновременном обеспечении оптимальных реотехнологических свойств бетонной смеси для ее послойного экструдирования [3].

На примере первого состава рассмотрим зависимость количества портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, воды, песка и др. добавок от формоустойчивости напечатанных слоев из бетонной смеси (высота изделия, полученная при 3D-печати без технологических перерывов), рис. 2.

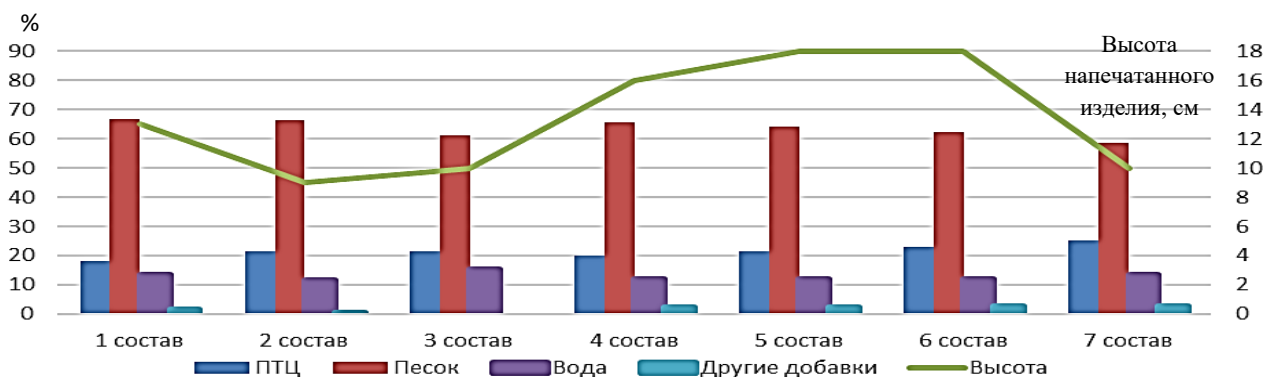


Рис. 2. Зависимость количества портландцемента, воды, песка и др. добавок от высоты напечатанного изделия

Наибольший результат в сантиметрах получился при 20–23% ПЦ, 62,34–65,78 % песка, 12,010–12,118% воды, 0,20–0,23% Суперпластификатора «Master Glenium 115», 2,0–2,3% тонкомолотого пуццоланового компонента – биокремнезема и 0,010–0,012% метилсиликоната натрия «ГКЖ-11Н».

*Выводы:* были рассмотрены критериальные реологические характеристики на каждом этапе строительной 3D-печати и найдены способы их определения и проверки. Определение реологических параметров и разработка нормативной базы для составов для строительной 3D-печати необходимо для обеспечения качественной интерпретации поведения материалов и разработки эффективных методов их контроля и улучшения. Были проанализированы различные добавки и сделаны выводы, за какие характеристики они отвечают, на каких этапах строительной 3D-печати они необходимы. Была рассмотрена зависимость портландцемента, воды, песка и др. добавок от высоты напечатанного изделия, эта зависимость показывает процентное соотношение портландцемента с остальными компонентами, при котором достигается наибольший результат в плане высоты изделия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Славчева Г.С., Бритвина Е.А., Ибряева А.И. Строительная 3D-печать: оперативный метод контроля реологических характеристик смесей // Строительные материалы. 2019. № 4(41). С. 134–141. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-14>.
2. Славчева Г.С., Шведова М.А., Бабенко Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40>
3. Патент № 2777 220 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01). Бетонная смесь для экструзии на 3D-принтере: № 2021140039 : заявлено 30.12.2021 : опубл. 01.08.2022 /Мухаметрахимов Р.Х., Зиганшина Л.В. – 7 с.
4. Патент № 2785161 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01). Модифицированная сырьевая смесь на основе цемента для строительной 3D-печати: № 2021140046 : заявлено 30.12.2021 : опубл. 05.12.2022 /Мухаметрахимов Р. Х., Зиганшина Л. В. – 7 с.
5. Патент № 2775 135 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01). Бетонная смесь для 3D-печати: № 2021140037 : заявлено 30.12.2021 : опубл. 28.06.2022 /Мухаметрахимов Р.Х., Зиганшина Л.В. – 7 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ПЛАНИРОВАНИИ ГОРОДСКОГО КВАРТАЛА

*Цель работы* – подбор подходящего метода генеративного дизайна для градостроительного проектирования и способа классификации промежуточных результатов.

Принято считать, что технология генеративного дизайна представляет собой синтез высоких компьютерных технологий и визуальных коммуникаций посредством программно-аппаратных систем, способные самостоятельно определять ключевые особенности и актуальность конечного результата. Машине присваивается роль соавтора и ей делегируется сам процесс создания образов. В данном контексте роль проектировщика сведена к возможности вносить изменения в систему или её параметры при необходимости [5].

Однако это определение не полностью раскрывает суть технологии, поскольку результат генерации не является продолжением воли человека, а представляет собой отпечаток заложенных в нейросетевые модели образов и алгоритмов синтеза. Поэтому, генеративный дизайн является инструментом расширения творческого потенциала автора, но не является соавтором (рис. 1). Главным инструментом в генеративном дизайне является метод генетического алгоритма. Генетический алгоритм – поисковой алгоритм, который позволяет с помощью механизмов, напоминающих биологическую эволюцию, решать задачи, в которых невозможно вычислить решение напрямую.

При внедрении в ПО САПР кода генетического алгоритма в десятки раз ускоряется процесс проектирования, а также уровень качества и эффективности переходит на новый



Рис. 1. Эволюция технологии автоматизированного проектирования

уровень. Вариативность предложенных решений отличается от привычных для проектировщика принципов моделирования. Так как проектные решения, которые основываются на математическом коде, предоставляют большой набор вариаций форм и в большинстве случаев нерелевантные для дальнейшей работы – появляется необходимость во внедрении нейросетевой технологии классификации приемлемости промежуточных результатов.

Генетический алгоритм основывается на идеи, связанной с современной биологической теорией естественного отбора. В процессе проектирования определяется эволюционирующая особь, какой набор чисел определяет хромосому особи и что определяет достижение успеха для особи. Генерируются проектные решения на основе исходной случайной хромосомы. Классификатор играет ключевую роль в оценке как визуальных, так и технологических результатов, выделяя наиболее успешные особи для мутации и создания нового поколения потомков. Каждое последующее поколение направлено на решение концептуальной задачи архитектора, стремясь к дальнейшему улучшению и развитию проекта [2].

Удачным примером применения генетического алгоритма в проектировании – исследование ученых из университета Линкольна, рис. 2. Учеными был разработан алгоритм для поиска концепции многофункционального жилого комплекса. Главной целью данного проекта заключалось в создании такой формы сооружения, в которой максимальное количество апартаментов было бы ориентировано на береговую линию, для достижения увеличения цены за

квадратный метр жилья. По итогу работы программным комплексом была предоставлена вариация различных форм и планировок, где конечный результат был определен, основываясь на эстетических и экономических требованиях [2].

Во время анализа промежуточных результатов работы алгоритма – возникает необходимость в процедуре оценки. К примеру, рационально – приемлемо – нерационально, с точки зрения технико-экономических показателей и эстетичности жилого квартала. В целях автоматизации процесса оценки промежуточно полученных проектных решений, получаемых генераторами каждой популяции, предлагается применять классификацию промежуточных результатов с использованием нейросетевых классификаторов. Важным этапом этого процесса является отбор признаков, по которым результаты будут распределяться по классам. Следующим этапом предварительной обработки обучающих данных является нормализация значений признаков к интервалу от 0 до 1. Это важно из-за различной природы классифицирующих признаков, которые могут иметь значения разной величины (например, «Площадь» и «Стоимость»). Эффективное построение классификатора требует высококачественных исходных данных. Ни один метод классификации, будь то на основе нейронных сетей или статистических подходов, не обеспечит нужное качество модели без достаточно полного и репрезентативного набора примеров для решаемой задачи [6].

*Выводы.* Для создания работ в области градостроительства есть востребованность в технологии генеративного дизайна зданий и территорий, а также нейросетевых классификаторах. На данный момент нейросетевые классификаторы и генеративный дизайн находятся на начальных этапах развития. Их роль и значение в развитии городских территорий подвержены предубеждениям, поскольку в пугающей обывателя перспективе может привести к роботизации процесса и замене самих человеческих ресурсов. Но, передовые технологии представляют собой инструмент, давая доступ к созданию генератора решений, отражающих предпочтения автора и вектор его поиска, но никак не заменяет.

К примеру, архитектор ориентируется на интерес заказчика и планирует пространственное решение. Отсюда вытекает набор операционных задач:

- просмотр визуального ряда эстетического выбора заказчика из большого количества пространственных решений;
- визуализация, проектирование и перебор множества вариантов организации территории для удовлетворения требований заказчика.

Эти задачи могут быть решены при помощи интеллектуального инструментария. Человек в данном процессе становится центром творческой воли и решения, а не механическим исполнителем поисковых итераций. В процессе исследования было определено, что процесс проектирования с использованием данной технологии, предоставляет такие преимущества как:

- раскрытие новых методик моделирования с помощью эволюционного генерирования форм;
- воссоздание эскиза объекта на основе выстроенной логики правил и ограничений;
- открытие новых возможностей для пространства благодаря неожиданным результатам генеративного дизайна, которые ранее были недооценены;
- перебор вариаций проектных решений для определения наиболее подходящего.

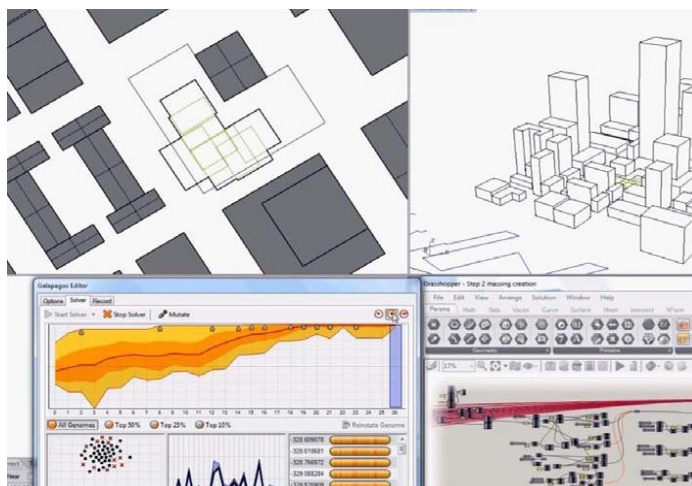


Рис. 2. Генерация форм в среде Rhino и Grasshopper.

МФК, Нейт Холланд, университет Небраски-Линкольна

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лаушкина А.А., Басов О.О. Применение методов генеративного дизайна с использованием мультимодальных данных в сфере архитектуры и градостроительства. Журнал Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №3, 2021. С. 3–10.
2. Абрагин А.В. Генетический алгоритм обучения искусственных нейронных сетей // Потенциал современной науки. – Липецк, 2015. – № 8 (16). – С. 8–11.
3. Пахтаева А.Я., Родионова Ю.В. Методы генеративного дизайна. Журнал НОЭМА (НОНМА) №2 (7) 2021. С. 213–220.
4. Стессель С.А. Методы вычислительного дизайна в градостроительном проектировании. Вестник «Зодчий. 21 век» №3 (60) 2016. С. 34–40.
5. Дё Ю.С. Тектоника и генеративный дизайн / Ю.С. Дё, А.Ю. Кремлев // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2016. – Т. 2 – С. 203–204.
6. Loginom. [Электронный ресурс]. –URL: <https://loginom.ru/blog/neural-classification> (дата обращения: 10.03.2024).

УДК 502.65

С.В. Латина, О.Ю. Цветков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА МУРИНО

В середине апреля 2019 года сельское поселение Мурино в связи с лавинообразным увеличением официальной численности населения до 49 664 человек поменяло свой статус на городское поселение со всеми вытекающими из этой процедуры последствиями, которые не замедлили сказаться (отразиться) на жизни и горожан, и территории, для которой они стали автохтонами. Темпы роста города Мурино на сегодняшний день являются самыми опережающими не только по Ленинградской области (в прошедшем 2023 году численность населения города увеличившись достигла значения 104 911 человек, что превысило данный показатель столицы Ленинградской области Гатчины (92 684 человек)), но и по Российской Федерации в целом. На 2023 год (по результатам прошедшего 2022 года) прирост населения составил +14,64% (13 362 человек), далее в топ-5 следуют Каспийск (+2,79%), Обнинск (+2,51%), Люберцы (+ 2,25 %) и замыкает Сургут (+2,15%) [1].

Площадь города Мурино в 2023 год составила 19,81 км<sup>2</sup> в пересчёте на плотность населения получаем показатель 5 143,7 чел./км<sup>2</sup>, что в 1,3 раза выше, чем в среднем по Санкт-Петербургу (3 991,48 на 2023 г.) и если население продолжает увеличиваться, то площадь не прирастает такими же темпами. Выход напрашивается в увеличении жилой площади за счёт повышения этажности вновь возводимых домов, что активно происходило в северной части города и показатель средней этажности застройки составлял двадцать этажей. Принятый высотный регламент ограничил возведение новых жилых зданий не более 18 этажей, что снизило средний показатель до шестнадцати этажей [2, 3].

Классическая градостроительная теория предполагает обязательное обеспечение населения, проживающего в городах тремя возможностями: обретением жилища, приложением труда и возможностью провести отдых. При этом в качестве отдыха рассматривается возможность проведения его в естественной среде, на открытом воздухе, т.е. на местности вне помещения, а это значит, что городская территория должна обладать необходимым количеством площадей с зелёными насаждениями древесно-кустарникового типа. Эти показатели в виде норм и правил сосредоточены в различных кодифицированных документах, регулирующих градостроительную деятельность на территории Российской Федерации.

Основная задача, решаемая зелёными насаждениями, заключается в оптимизации условий окружающей среды для городского населения с целью максимального их приближения к комфортным [4, 5]. Фактическая же оптимизация пространственной городской среды за счёт повышения средостабилизирующих возможностей зелёных насаждений общего пользования возможна только после детальной разработки концепции озеленения территории города. Это будет весомым вкладом в процессе улучшения экологической оценки городской среды.

Острая необходимость в создании концепции зелёных насаждений в городе Мурино продиктована факторами, имеющими серьёзные и далеко идущие последствия, а именно:

- стремительное увеличение площади застроенных территорий и населения, проживающего на ней, обнажает и вполне вероятно может усугубить проблемы социально-экологического характера;
- применение в градостроительном проектировании рыночных механизмов требует внесение изменений к процессу организации «зелёного законодательства», которое должно опираться на экологический нормативно-правовой фундамент местного уровня, который максимально учитывает все особенности исследуемой территории;
- усиление требований к обеспечению экологической безопасности населения на этапах проектирования (с обязательным моделированием возможных негативных ситуаций как антропогенного, так и природного характера) возникающих новых и реконструкции существующих объектов;
- исходя из общей концепции устойчивого развития необходимо совершенствовать научные представления о пространственной организации застроенных территорий с учётом новых технологий, материалов, архитектурных и дизайнерских решений, потребительских предпочтений и т.д.;
- неуклонной интеграции структуры города, его облика которые непосредственно связаны с интенсификацией дорожного строительства, массовым переходом к строительству по индивидуальным проектам многоэтажных зданий, отдельных коттеджей и коттеджных поселков.

Эти факторы, как средоформирующие и средостабилизирующие, определяют изменение существующего подхода к проблеме озеленения городской территории с точки зрения чрезвычайно важного элемента бесперебойного функционирования всего городского хозяйства, призванного обеспечивать комфорт от проживания в городе.

Основной целью разрабатываемых концептуальных предложений авторы видят в определении векторных направлений экопозитивной системы озеленения территории города Мурино и создания для горожан условий, которые будут являться благоприятными в быту, во время приложения своего труда и конечно же для отдыха. С учётом географического и исторического опыта имеющегося на исследуемой территории необходимо подойти к разработке критериев оценки существующего состояния и эффективных направлений оптимизации озеленения территории города Мурино [6].

В этой связи на повестку выносятся две задачи:

- провести полномасштабное обследование территории города Мурино для сбора и анализа информации по современному состоянию зелёных насаждений;
- создать целостную систему по комплексному озеленению города с предварительной разработкой основных принципов осуществления зелёного строительства.

Создаваемая концепция по озеленению городской территории связывает предполагаемый результат с устойчивым развитием города Мурино. В качестве методов, используемых для достижения этой глобальной цели – устойчивого развития – рассматриваются стабилизация существующего экологического состояния и общее улучшение качества городской среды за счёт внедрения экологоориентированных методов

управления земельными ресурсами и городским хозяйством, а также экологической доминанты экономической деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Самые быстрорастущие города России на 2023, топ 5 городов по росту населения и по убыли в РФ. Страны, города, статистика населения... statdata.ru. // Заглавие с экрана // <https://www.statdata.ru/samyebystrorastuchie-goroda-rossii> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Мурино. Стремительно развивающийся город с многовековой историей Мурино URL: <https://murino47.ru/> (дата обращения: 02.03.2024).
3. Историческая справка // Муниципальное образование "Муринское городское поселение" URL: <https://xn---7sbapuabb4afggnvekrx7c1l.xn--plai/> (дата обращения: 02.03.2024).
4. Ветровой комфорт в пешеходных зонах и вблизи зданий // Dlubal Software GmbH URL: <https://www.dlubal.com/ru/podderzhka-i-obuchenije/podderzhka/baza-znaniy/001646> (дата обращения: 02.03.2024).
5. Архив фактической погоды // Гидрометцентр России URL: <https://meteoinfo.ru/pogoda/russia/leningrad-region/sankt-peterburg> (дата обращения: 03.03.2024).
6. Оленьков В.Д., Тазеев Н.Т. Расчёт ветровых нагрузок с учётом локальных изменений скорости ветра в застройке // Южно-Уральский государственный университет. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. – 2019. – 19(4). – С. 5–17.

УДК 332.362

М.А. Латыпов, М.К. Минаев, О.Ю. Цветков  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ШУМ КАК ВАЖНЫЙ ПАРАМЕТР КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

По срединному варианту прогноза ООН к 2050 году в городах будет проживать не менее 68,6 % населения Земли, что касается современного состояния, то на 2020 год чуть более половины населения планеты – 56,2 % являются горожанами. Тенденции роста этого показателя в XXI веке можно объяснить теми благами и преимуществами, которые предоставляет городская территория своим постояльцам – это и медицина, и образование, и культура, и сфера бытового обслуживания, и жилищно-коммунальное хозяйство, и более широкие возможности приложения своего труда за гораздо большее вознаграждение, чем в сельской местности, и ещё очень много всего позитивного что ставит городскую жизнь выше.

Вместе с очевидными благами городская территория изобилует и негативными проявлениями, связанными с локальным проживанием большого количества людей на ограниченной территории, и как следствие высокой плотности населения. В первую очередь это различного рода загрязнения, которыми изобилуют территории городов. К некоторым видам население уже адаптировалось, это загрязнение воздуха, воды, почвы, грунты. Некоторые появились либо в значительной мере усилились вместе с благами цивилизации – это тепловое, световое, электромагнитное, визуальное и шумовое [1]. Что касается шумового загрязнения, то в жизни современного общества шум стал неотъемлемым спутником повседневности. Он присутствует на производстве и в транспорте, на улице и в быту. Положительным является тот момент, что в отличие от иных видов у него отсутствует тенденция к накоплению в атмосфере или в иной среде. Шумовое загрязнение характеризуется приводящим к дискомфорту для человека и животных уровнем шума, как и громкость звука измеряется в децибелах, при значениях свыше 100 децибел может привести к потере слуха. Поэтому нормами ВОЗ рекомендуемое значение уровня шума на предприятии должно быть не более 75 децибел.

По данным, опубликованным специалистами Роспотребнадзора, самыми шумными городами Российской Федерации являются Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Севастополь, Липецк и Тюмень, в противовес наиболее тихими регионами являются Камчатка, Калмыкия и Карачаево-Черкесия [2].

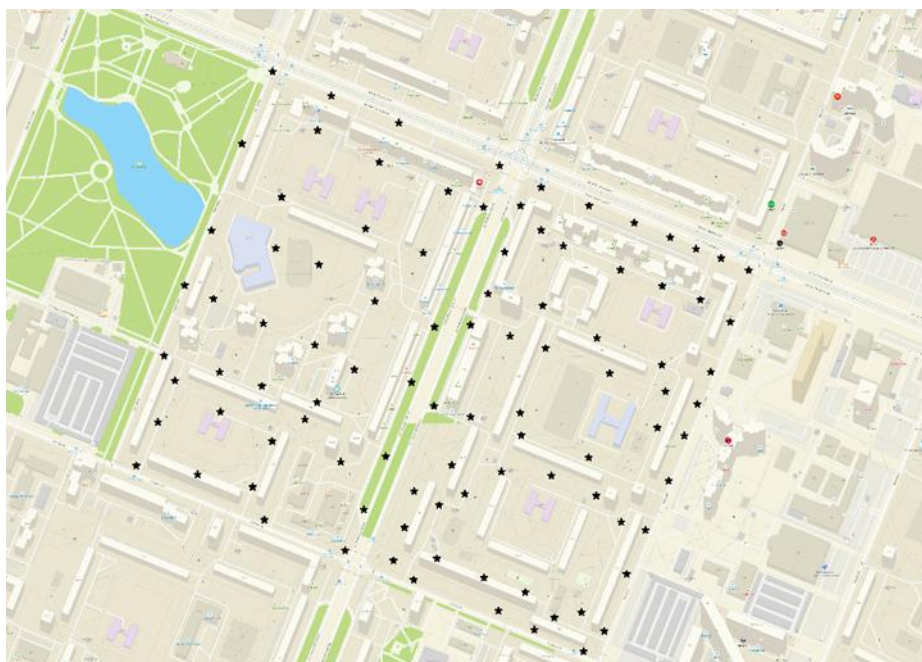


Рис. 1. Местоположение точек, измерения городского шума, Калининский район, г. Санкт-Петербург

Экспертами определён наиболее существенный источник городского шума им оказался автотранспорт, его значение в общем шумовом загрязнении находится в пределах от 40 до 70 процентов, и по степени своей интенсивности шум от автотранспорта значительно превысил шумовое загрязнение от строительства и промышленности.

Для здоровья горожан транспортный шум представляет серьёзную опасность. По данным ВОЗ после загрязнения воздушной среды шумовое загрязнение находится на втором месте по степени негативных последствий (повышенное давление и усталость, нарушенный сон, снижение слуха, головная боль и отдышка, заболевания сердца и сосудов) [5]. Длительное либо хроническое воздействие шума имеет наиболее опасные последствия. В особенности это проявляется, когда жилище человека располагается рядом с оживлённой транспортной артерией населённого, потому что для здорового сна уровень шума не должен превышать 30 дБ, а для осуществления интеллектуальной работы и обучения до 35 дБ. К большому сожалению, на практике эти показатели в два раза выше, так в Москве шум обычно находится в пределах 70–80 дБ, в Санкт-Петербурге незначительно меньше [6].

Для создания шумовой карты одного из кварталов Калининского района Санкт-Петербурга (рис. 1), производились измерения прибором, который определял численное значение уровня шума. Стандартно контроль и нормирование городского шума производится по трем величинам: уровень звука; эквивалентный уровень звука; максимальный уровень звука.

Полевые измерения производились с использованием прибора «Алгоритм-03» – шумомера первого класса точности, позволяющего измерять шум на селитебной территории.

Измерения проводились по методике, описанной в ГОСТ Р 53187-2008, а также с соблюдением требований, указанных в ГОСТ 23337-2014 [3, 4]. Инструкций по оптимальному и максимальному количеству точек на местности в нормативной литературе не приводится, однако устанавливаются минимальные требования – не менее, чем в трёх точках, на расстоянии 2 м от наружных ограждающих конструкций зданий или на ближайшей к источнику шума границе площадок. Дополнительное требование – разность измеряемых величин на соседних точках не должна превышать 5 дБ. В ходе проведения натурных исследований шумовой показатель интерполировался при помощи линейной функции. На рис. 2, приведён пример файла с измерениями для первых 15 точек.

No.	Date & time	P1 (A)	P1 (A, Slow)	P1 (A, Slow)	P1 (A, Lin)	P1 (A, Lin)	P1 (A, Lin)
		LApeak [dB]	LASmax [dB]	LASmin [dB]	LAeq [dB]	LEP <sub>d</sub> [dB]	Lden [dB]
0	1	92,5	76,3	67,2	72,8	72,8	82,8
1	2	84,2	64,7	63,1	63,9	63,9	73,9
2	3	78,4	63	61,2	62,2	62,2	72,2
3	4	91,7	75,3	71,7	73,8	73,8	83,8
4	5	81	67,9	60,3	64,6	64,6	74,6
5	15	66,7	55,6	47,2	49	49	59
6	14	74,9	53,9	46,4	49,4	49,4	59,4
7	13	67,4	50,6	48,5	49,1	49,1	59,1
8	36	75,8	61,7	56,4	59,6	59,6	69,6
9	16	68,4	48,7	46	46,2	46,2	56,2
10	21	69,3	47,5	45,4	46,2	46,2	56,2
11	18	69,2	46,2	41,7	42,6	42,6	52,6
12	17	70,9	48,4	44,3	45,2	45,2	55,2
13	6	81,9	67	58,4	61	61	71
14	19	67,7	53,6	47	49	49	59
15	20	66,7	45,7	44,6	45,2	45,2	55,2

Рис. 2. Фрагмент файла данных полученных полевых измерений для 15 точек

По результатам анализа полученной в ходе полевых измерений городского шума информации выяснилось, что повышенный уровень наблюдается в непосредственной близости от проезжей части, в особенности на пересечении улиц с проспектом Просвещения – это предполагалось, но получены числовые значения этого факта. Наиболее низкий уровень шума – в центральной части жилых кварталов, среднее значение которого колеблется в диапазоне 40–45 дБа, что конечно же ниже

предыдущего, но также находится за пределом допустимым для подобного расположения точки измерения. Обобщённые результаты подтверждают тот факт, что городская среда Санкт-Петербурга с точки зрения шумового загрязнения представляет опасность для горожан и требуются необходимые меры по изучению данного процесса с целью снижения уровня шума до комфортных значений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. 8 видов загрязнения окружающей среды. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса. // <https://nangs.org/news/ecology/8-vidov-zagryazneniya-okruzhayushtey-sredy> // [Заглавие с экрана] // Режим доступа: свободный // (дата обращения: 03.03.2024).
2. Роспотребнадзор определил самые шумные города России. НИА «Экология». // Опубликовано Ноябрь 8, 2022 // <https://nia.eco/2022/11/08/50864/> // [Заглавие с экрана] // Режим доступа: свободный // (дата обращения: 03.03.2024).
3. ГОСТ 53187-2008. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий от 18.12.2008 URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293830/4293830591.pdf> (Дата обращения 14.03.2024). Режим доступа: свободный.
4. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий принят 30.09.2014 URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293767/4293767499.pdf> (Дата обращения 14.03.2024). Режим доступа: свободный.
5. Vasileva E., Tsvetkov O., Manukhina L. Spatial planning solutions for the housing redevelopment project as an element of improved housing ecology. E3S Web of Conferences. 22. 22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020, 2021.
6. Tsvetkov O., Vasileva E., Kulakov K. Features of cadastral registration of real estate objects using 3d technologies. E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020", 2020. С. 02007.

УДК 502.3

Т.А. Али, О.Ю. Цветков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕРРИТОРИИ ГОРДА ДЖИЗАН, САУДОВСКАЯ АРАВИЯ, И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Джизан (араб. جازان) — город, являющийся центром административного округа Джазан, расположен на юго-западе королевства Саудовская Аравия, в непосредственной близости от



границы с Йеменом, на западном побережье Красного моря, напротив острова Фарасан (на расстоянии 45 км). Кроме того, территория города граничит на севере с мухафазой Сабия, на востоке с мухафазой Абу-Ариш, на северо-востоке с мухафазой Дамад, а на юге с мухафазами Самта и Ахд аль-Масараха.

Согласно статистическим данным Главного управления статистики государства за 2017 год население города составило 134 764 чел., а региона в целом более 1 365 110 человек. Но уже к концу 2022 года, согласно последней переписи, население города Джизан увеличилось до 200 911 жителей [1, 2].

На территории города расположились: штаб-квартира эмирата, морской порт и международный аэропорт имени короля Абдаллы, восточный базар, и остатки старинного османского форта, являющиеся местом притяжения внимания туристов. Автомобильные дороги связывают Джизан с другими городами страны – на севере через 200 км расположен город Абха, к границе с Йеменом на юго-восток ведёт трасса протяжённостью 60 км.

Первоначальный топоним города был образован от названия местности Тихама, и звучал как Ат-Тихама. Вплоть до 1910 года он находился в составе Османской империи, а с 1910 и до 1934 года входил в состав независимого государства Асир. Позже вместе с Асир они стали частью Саудовского королевства. Начиная с 1960-х годов Йемен высказывает территориальные претензии по поводу земель данной территории к руководству Саудовской Аравии [3].

Упоминание о городе имеются в главных научных трудах арабского учёного-энциклопедиста Аль-Хамдани – книгах «Аль-Иклиль» («Венец») и «Сыфату-Джазират-иль-араб» («Описание Аравийского полуострова»). Обе книги имеют характер энциклопедий и описывают исторические и географические особенности данного региона.

Достаточно выгодное географическое положение на берегу Красного моря позволяет горожанам осуществлять торговые отношения с восточным побережьем Африки на протяжении более трёх тысяч лет, об этом свидетельствуют исторические документы, хранящиеся в Национальном музее королевства Саудовская Аравия [4].

На климат рассматриваемой территории в значительной мере влияет непосредственная близость Красного моря. Самым жарким месяцем года является июль – абсолютный максимум 49 °С по Цельсию, в декабре значение температуры опускается до значения 21,6 °С, что является самым низким показателем (абсолютный минимум). Относительная влажность воздуха в январе составляет 74 %, в августе – 66%, а средняя за год – 68 % [5].

Регион характеризуется наличием характерных природных ресурсов. По добыче и переработке морепродуктов (рыба, креветки) город является лидером в стране. Почвенные ресурсы имеют высокий бонитет, а грунты обилуют подземными водами, что является важным источником для заполнения колодцев и скважин. Климат и спокойный рельеф с разнообразием поверхностных проявлений являются подходящей средой для инвестиций в сельское хозяйство, которое способствует обеспечению продовольственной безопасности королевства. Среди наиболее важных, стратегических сельскохозяйственных культур в регионе произрастают овощи, фрукты, полевые культуры, кофе Арабика, декоративные деревья, различные ароматические растения, рис. 1.

Регион Джазан также славится продукцией медоносных пчёл и считается успешным по содержанию домашнего скота, рис. 1. Особой популярностью пользуются местные виды мелко- и крупнорогатого скота – овец, коз, коров, а также верблюдов.

Согласно статистике Министерства сельского хозяйства, площадь пахотных земель в регионе Джазан составляет более 240 тысяч гектаров [6], что достаточно для удовлетворения потребностей королевства в основных культурах, и имеются излишки продукции, которые можно экспортировать за рубеж. Несмотря на наличие пахотных земель в Джазане, многие хозяйства имеют небольшие размеры и не благоприятный вариант их использования, что

препятствует применению современных технологий и ограничивают возможности получения кредита от Сельскохозяйственного банка.

Пляжи и прибрежные долины простираются на 323 км вдоль берега Красного моря, и считаются одним из наиболее успешных вариантов для рыбозаведения, рыболовства и переработки рыбной продукции для удовлетворения потребностей местного рынка и экспорта.

Что касается типов почвы, то они разнообразны. Имеются различные варианты с мягкой текстурой – они преобладают вокруг ручьев (в долинах) и считаются одним из лучших для использования в сельскохозяйственных угодьях, где они отличаются высокой способностью удерживать воду, высоким содержанием питательных веществ, необходимых для роста растений, а также низким содержанием в них солей, что делает их пригодными для выращивания многих сельскохозяйственных культур. В увалах между долинами находятся территории с высокоплодородными землями, которым для роста растений требуется минимальное внесение удобрений и ограниченное количество воды.

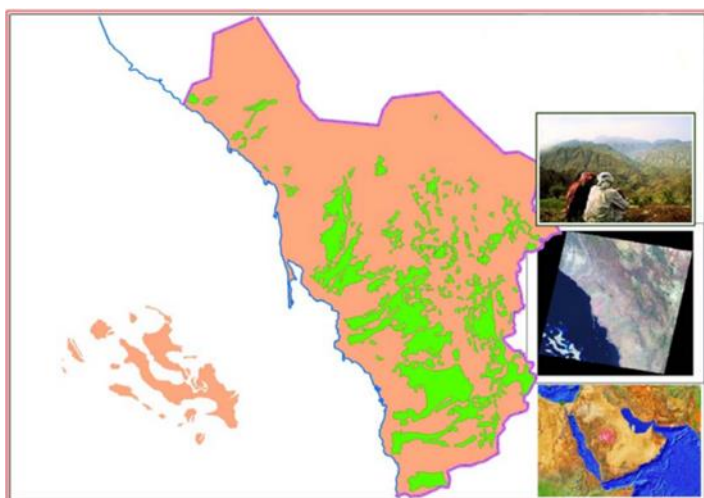


Рис. 1. Сельскохозяйственные территории в регионе Джазан, Саудовская Аравия

Эти земли занимают значительные площади в районе равнин Тихама. Имеющиеся различия в рельефе, температуре и влажности воздуха и почвы, качестве земель являют собой преимущества и являются подходящей средой для выращивания большинства зерновых культур, овощей и фруктов, в особенности тропических.

В регионе насчитывается около 3200 ферм, имеющих искусственные системы орошения, из них 2000 ферм культивируют выращивание фруктов и 1200 овощеводческих ферм, занимающихся выращиванием кормовых и полевых культур. Имеются фермы, используемые дождевую воду и

аккумулирующие ливневые воды, однако их сельскохозяйственные площади зависят от количества дождей и ливневых вод, которые, по различным оценкам, составляют около 70 % от общего объема орошения. Поэтому чем больше ожидается и выпадает дождевой влаги и аккумулируется ливневых потоков, тем больше площадь посевов, таких культур как сорго и иных видов проса, кунжута и левантийской кукурузы, а площадь посевов некоторых культур составляет 421 784 дунамов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Обзор мирового населения // Заглавие с экрана // Режим доступа: свободный // <https://web.archive.org/web/20131031222726/http://worldpopulationreview.com/major-cities-in-saudi-arabia/> (дата обращения: 20.03.2024).
2. Британика. Джизан. Саудовская Аравия // Заглавие с экрана // Режим доступа: свободный // <https://www.britannica.com/place/Jizan> (дата обращения: 20.03.2024).
3. Познакомьтесь с Джизаном // Режим доступа: свободный // <https://www.visitsaudi.com/ru/see-do/destinations/jazan> (дата обращения: 20.03.2024).
4. Провинция Джизан. Всё самое интересное // Заглавие с экрана // Режим доступа: свободный // [https://www.tripadvisor.ru/Tourism-g2628892-Jizan\\_Province-Vacations.html](https://www.tripadvisor.ru/Tourism-g2628892-Jizan_Province-Vacations.html) (дата обращения: 20.03.2024).
5. Грузоперевозки из порта Джизан (Саудовская Аравия) // Заглавие с экрана // Режим доступа: свободный // <https://traffic-a.ru/world-port/port-jizan-saudi-arabia.html> // (дата обращения: 19.03.2024).
6. Джизан (провинция) // Заглавие с экрана // Режим доступа: свободный // [https://ria.ru/location\\_Jizan\\_Province/](https://ria.ru/location_Jizan_Province/) // (дата обращения: 19.03.2024).

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>Секция «Гидротехническое строительство».....</b>	<b>3</b>
<i>Балакина А.А., Лавров Н.П., Фролова И.Е.</i> Особенности подбора и расчета гидротехнических затворов водозаборного сооружения деривационной ГЭС на р. Куркуреу, Кыргызстан.....	3
<i>Борисов О.В.</i> Прогноз мощности выработки электроэнергии на основании исторических данных .....	6
<i>Величко И.В.</i> Подбор отбойного устройства для крупнотоннажного балкера класса Capesize .....	9
<i>Галасин П.А., Малых А.С.</i> Анализ выработки электроэнергии при использовании устройства ОБРЕС в составе оградительных сооружений .....	12
<i>Георгиев М.А., Большев А.С.</i> Использование льда в качестве строительного материала ..	15
<i>Герке С.А., Лавров Н.П., Фролова И.Е.</i> Компоновка гидротехнических сооружений малой ГЭС на Кировской плотине, Кыргызстан .....	18
<i>Горбунова А.Д., де Векки А.Д.</i> Анализ выбора отбойных устройств.....	21
<i>Губанова А.А.</i> Подбор отбойных устройств и швартовых тумб для реконструируемого причала в городе Кронштадт: анализ нагрузок и выбор конструкций .....	24
<i>Донцов И.В., Большев А.С.</i> Морские терминальные причалы как решение проблемы разгрузки танкеров. Конструктивные особенности.....	27
<i>Ильина Е.Р., Шарпов Д.А.</i> Способы защиты сооружений континентального шельфа от ледовой нагрузки.....	30
<i>Крылова К.К., Шарпов Д.А.</i> Сравнение способов гашения энергии при проектировании высоконапорного гидроузла .....	33
<i>Маевский И.В.</i> Расчёт необтекаемого оградительного гидротехнического сооружения на воздействие цунами .....	36
<i>Максимова Ю.В., Беляев Н.Д., Лебедев В.В., Нуднер И.С., Семенов К.К.</i> Определение положения заякоренного плавучего объекта при физическом моделировании .....	39
<i>Малых А.С., Терещенко О.Н., Баранов А.О.</i> Применение переработанных отходов пластмасс в качестве заполнителя в строительных растворах .....	42
<i>Меркулов А.А., Козинец Г.Л.</i> Учет взаимодействия малых групп висячих забивных свай с грунтовым основанием при численных расчетах несущих систем .....	45
<i>Савельева В.В.</i> Нормативные методики расчета ледовых нагрузок на шельфовые гидротехнические сооружения .....	48
<i>Фаттахов Э.И., Большев А.С.</i> Перспективы реализации инженерно-геологических исследований с мобильных модульных платформ .....	51
<i>Фаттахов Э.И., Федорова Е.П., Меркулов А.А., Козинец Г.Л.</i> Расчетное обоснование оптимального конструктивного решения деревянной стропильной фермы.....	54
<i>Шабанова Н.И., Большев А.С.</i> Перспективы строительства глубоководных ледостойких стационарных платформ в России .....	57
<i>Пугаченко П.А.</i> Обоснование заполнения труб свайного основания песком.....	59
<i>Светлаков Н.Э., Шарпов Д.А.</i> Физическое моделирование воздействия льда на гидротехническое основание створного знака в ледовом бассейне .....	62
<i>Фаттахов Э.И., Смирнов Е.М.</i> Оценка технического состояния металлоконструкций свайного основания причала «Тамарин» .....	65
<i>Кристалль М.А., Фролова И.Е.</i> Анализ результатов рекогносцировочного обследования .....	68
<i>Жерлицин Я.С., Беляев Н.Д.</i> Современные тенденции развития массивов-гигантов .....	71
<i>Донцов И.В., Большев А.С.</i> Проблемы морского строительства в северных широтах .....	74

<i>Петряков Р.А., Шаранов Д.А.</i> Теплотехнический расчет причальной стенки с использованием терморегулируемой сваи в районах многолетних мерзлых грунтов .....	77
<i>Продан А.О., Лавров Н.П., Фролова И.Е.</i> Принципы гидравлического расчета гидротехнических сооружений малой ГЭС на реке Шу, Казахстан.....	80
<i>Чунеева К.А., Беляев Н.Д.</i> Рациональное принятие решения при выборе места размещения терминала: метод Кепнера-Трего .....	83
<i>Суханов Н.И.</i> Способы возведения ледовых островов методом наплавления ледовых полей...86	
<i>Екимов К.С., Беляев Н.Д.</i> Анализ акватории Черного моря для возведения судоремонтного комплекса .....	89
<i>Курносков И.В., Шаранов Д.А.</i> Анализ аварийных ситуаций при швартовке крупнотоннажных танкеров .....	91
<i>Холодаев Т.Д., Фролова И.Е.</i> Метод многовариантного проектирования низконапорных гидроузлов с помощью платформы nanoCAD.....	94
<i>Борисов И.С., Беляева С.В.</i> Использование кристаллообразующих добавок с целью повышения водонепроницаемости бетона.....	97
<i>Борейко Д.П.</i> Модельные испытания гидротехнического основания круглого сечения.....	100
<i>Герке С.А., Того И.</i> Обеспечение возобновляемости эксплуатационных ресурсов гидротехнических сооружений .....	103
<i>Брежнева А.В., Беляев Н.Д.</i> Современные системы мониторинга причальных сооружений .	106
<i>Ермошкин Л.Г.</i> Повышение экологической безопасности в малой гидроэнергетике .....	108
<i>Девлешова К.А.</i> Исследование устойчивости геотехнических сооружений с использованием программы Plaxis 2D: моделирование, расчеты и анализ .....	111
<i>Казарян А.К.</i> Расчет усилий в сваях ростверка .....	114
<b>Секция «Энергоэффективность и возобновляемые источники энергии в строительстве» .....</b>	<b>117</b>
<i>Ригель И.В., Елистратов В.В.</i> Моделирование динамических нагрузок на привалочную плоскость фундамента ветроэнергетической установки.....	117
<i>Терехов Е.Ю., Елистратов В.В.</i> Сравнительный анализ систем моделирования и расчета параметров гибридных энергокомплексов .....	120
<i>Антонов В.А., Елистратов В.В.</i> Особенности работы энергосистемы Мурманской области при подключении Кольской ВЭС.....	123
<i>Edgar Fabian Coy Perez, Elistratov V.V.</i> CFD analysis of the wind distribution around a building in the city of Tunja .....	125
<i>Касина В.И.</i> Методика проектирования ветродизельных электростанций в северных регионах с использованием геоинформационных технологий.....	128
<i>Амини С.С., Елистратов В.В.</i> Состояние и перспективы развития гидроэнергетики Афганистана.....	131
<i>Amaish Issa Ibrahim, Kudryasheva I.G.</i> Accelerating the transition to renewable energy in Libya: opportunities and challenges .....	134
<i>Мартынова А.Н., Панфилов А.А.</i> Ветроэнергетический потенциал прибрежных территорий Финского залива.....	137
<i>Garcia H., Kudryasheva I.G.</i> Use of Stipa Ichu fiber as thermal insulation.....	140
<i>Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Махмудов А.А.</i> Экспериментальные исследования по использованию центробежного насоса в режиме гидроаккумулирующей электростанции .....	143
<i>Джураев К.С., Жураев С.Р., Сайфутдинов А.Ш., Ахмедов Ж.Т.</i> Определение основных режимов работы и параметров гидроаккумулирующих электростанций малой мощности.....	146
<i>Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р., Мамабетов А.К., Илавиiddинов Х.Ш.</i> Анализ моделей оптимизации режимов работы каскада гидроэлектростанции в составе гидроэнергетического комплекса .....	149

<i>Джурраев К.С., Шадибекова Ф.Т., Исмоилов Э.Д., Абдуазиз уулу Абдурауф.</i> Перспективы развития «зеленой» энергетики в Республике Узбекистан.....	151
<i>Мухаммадиев М.М., Гадаев С.К., Дилмуродова Н.З.</i> Свободнопоточная микроГЭС для использования гидропотенциала каналов .....	154
<i>Мукольянц А.А., Низомов Ж.М.</i> Комплексная схема использования вторичных энергетических ресурсов на компрессорной станции .....	157
<i>Васильева А.М., Короткова А.С.</i> Экономико-энергетическая оценка применения тепловых насосов в системах отопления высотных зданий.....	160
<i>Великий Я.А., Немова Д.В.</i> Расчет коэффициента ускорения для проведения испытаний стеновых панелей модульных зданий в климатической камере.....	162
<i>Ермошкин Л.Г.</i> Исследование преобразования механической и тепловой энергии сточных вод в электроэнергию .....	164
<i>Лысенко А.В., Кирсанов Д.А., Терех М.Д.</i> Энергоэффективность территорий Российской Федерации.....	167
<i>Наумова К.А., Короткова А.С.</i> Оценка эффективности использования системы автоматизации инженерных систем.....	169
<b>Секция «Гидравлика. Инженерные системы зданий и сооружений».....</b>	<b>172</b>
<i>Тимофеев М.Д., Дудихин В.В.</i> Возможности применения муниципальными органами искусственного интеллекта в контроле инженерных систем .....	172
<i>Суднициков С.С., Коряковцева Т.А.</i> Сравнение результатов методик по определению удельных гидравлических потерь пульпопровода .....	175
<i>Губаревич А.П., Корниенко С.В.</i> Повышение устойчивости удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию зданий .....	178
<i>Зубарев К.П.</i> Влияние нестационарного влажностного режима наружных ограждений зданий на подбор приборов системы отопления .....	180
<i>Каримова Е.И., Аверьянова О.В.</i> Анализ систем кондиционирования с секцией осушения воздуха.....	183
<i>Кудрявцева А.И., Аверьянова О.В.</i> Влияние конструктивных параметров системы водяного теплого пола на тепловые характеристики.....	186
<i>Руссу М.В., Соловьёва О.А.</i> Анализ методики подбора центробежного компрессора холодильной машины для системы кондиционирования конференц-зала .....	189
<i>Хлебникова К.А., Соловьёва О.А.</i> Методика расчета теплопритоков в охлаждаемые помещения и определение тепловой нагрузки для подбора камерного оборудования и компрессоров.....	193
<i>Осипова Д.М., Аверьянова О.В.</i> Выбор системы кондиционирования для медицинского учреждения .....	196
<i>Конюшенко А.С., Столяров О.Н.</i> Выбор тепловизора для тепловизионного контроля инженерных систем.....	199
<i>Александров Д. П., Ермак О.В.</i> Проектирование системы внутреннего водоснабжения с учётом существующих нормативных документов относительно свободного напора у диктующего прибора .....	202
<i>Андреева К. Е., Локтионова Е.А.</i> Влияние формы поперечного сечения на гидравлические характеристики воздуховода.....	204
<i>Свиридова С.Я., Гиргидов А.А.</i> Верификация программного комплекса FloMASTER и расчет параметров гидравлического удара .....	206
<i>Шацкая У.А., Куколев М.И.</i> Влияние параметров пористой структуры на результаты гидродинамических и тепловых расчетов .....	209
<i>Заводнова Е.Б., Куколев М.И.</i> Использование аккумуляторов холода в инженерных системах для охлаждения зданий .....	212

<i>Колодина А.Е., Еникеев А.И., Черкашин А.В.</i> Экспериментальное определение теплопроводности напыляемого утеплителя .....	215
<b>Секция «Городское строительство и хозяйство» .....</b>	<b>217</b>
<i>Юйсян Ван, Молодкина Л.М.</i> Оценка жилого объекта в городе Хэфэй по китайскому стандарту зеленого строительства GB/50378-2019.....	217
<i>Захарова М.П., Криулин К.Н.</i> Оценка эффекта всплытия при освоении подземного пространства городов .....	219
<i>Фень Чень Гуан, Шарапов Д.А.</i> Сейсмостойкость железобетонных каркасных сооружений.....	222
<i>Углов А.К., Агафонов С.А., Михеев П.Ю.</i> Перспективы применения перекрестно-клееной древесины в России .....	225
<i>Херрати Ю., Столяров О.Н.</i> Проектирование текстильных навесных конструкций вентилируемых фасадов зданий .....	228
<i>Уткин К.Л., Криулин К.Н., Дементьева К.О.</i> О неустановившемся режиме движения грунтовых вод при формировании кривой депрессии в начальный период работы дренажа ...	231
<i>Шарманов В.В., Лыткин С.М.</i> Применение 4D моделирования в организации строительного производства.....	233
<i>Кравцова М.А., Тряскин М.А., Якунин Л.А.</i> Применение локальных очистных сооружений на основе фильтров ФОПС для реконструкции ливневой канализации .....	236
<i>Имэн Лю, Негуляева Е.Ю.</i> «Зеленый коридор» как элемент комфортной городской среды на примере города Лоян (КНР) .....	239
<i>Зубкова К.Ю., Негуляева Е.Ю.</i> Обращение с отходами для территорий с туристско-рекреационными зонами (на примере сельского поселения в республике Бурятия).....	241
<i>Шпильная В.Н.</i> Оценка объемов строительных отходов при сносе аварийных домов....	244
<i>Скуртул Е.М., Шарагина М.П., Леднова Ю.А.</i> Проблема озеленения в условиях плотной городской застройки.....	247
<i>Шарагина М.П., Скуртул Е.М., Леднова Ю.А.</i> Проблемы благоустройства дворовых территорий Заполярья России .....	250
<i>Прокопчук Д.В., Огурцов Г.Л.</i> Метод прогнозирования физического износа здания культурного наследия.....	253
<i>Abdulrahimzai Gul Rahman.</i> Investigation on the performance of various thermal insulation materials and their environmental impacts .....	255
<i>Alaa AbushreitaH.</i> Water scarcity in Sana'a city and the possible engineering solutions.....	258
<i>Гилязева А. А., Ткаченко О.Е., Негуляева Е.Ю.</i> Конструкция зеленой крыши и преимущества ее обустройства на городских зданиях.....	260
<i>Андросова В.П.</i> Современные строительные материалы и системы для улучшения энергоэффективности жилищно-коммунального комплекса .....	262
<b>Секция «Инженерная защита окружающей среды» .....</b>	<b>265</b>
<i>Бондаренко К.А.</i> Выявление частиц микропластика в поверхностных водах Санкт-Петербурга .....	265
<i>Новожилов Д.В., Молодкина Л.М.</i> Стандартные процедуры и особенности процесса отбора микропластика из водотоков Ленинградской области .....	268
<i>Котов С.А., Наумова З.В., Кудрявцева Т.С.</i> Сталепрокатная окалина – перспективный материал для очистки водных сред .....	270
<i>Цзя Го, Андрианова М.Ю.</i> Нехватка воды в отдаленных районах Китая .....	272
<i>Чуаньсян Цинь, Андрианова М.Ю.</i> Анализ технологий обеззараживания питьевой воды .....	275
<i>Цюньчжо Ван, Андрианова М.Ю.</i> Подходы к стандартизации качества питьевой воды.....	277
<i>Краснова С.В., Андрианова М.Ю.</i> Возможности применения УФ светодиодов в дезинфекции воды.....	280

<i>Русскова И.Г., Елеференко А.А.</i> Анализ нормативно-правовой базы по регулированию выбросов парниковых газов .....	283
<i>Васильева Е.А.</i> Совершенствование мероприятий по снижению негативного воздействия на экологическую обстановку порта при обработке судов.....	285
<i>Моисеенко И.С., Русскова И.Г.</i> Анализ потребности в очистке сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ .....	287
<i>Сафронов С.С., Белоусова В.Ю.</i> Анализ влияния освещения на жизнедеятельность активного ила .....	289
<i>Ильясов И.И., Опарина А.М., Белоусова В.Ю., Бондаренко К.А.</i> Термическое исследование сорбционных свойств хлопчатника .....	292
<b>Секция «Природообустройство» .....</b>	<b>294</b>
<i>Ерланова А.Е., Павлов С.Я.</i> Благоустройство озера Карасиное в городе Казань.....	294
<i>Долгова К.Д., Волкова Ю.В., Павлов С.Я.</i> Рекреационная зона в малых городах (на примере города Кудрово Ленинградской области) .....	296
<i>Милешникова Н.В., Павлов С.Я., Волкова Ю.В.</i> Ландшафтная организация пространств в условиях плотной жилой застройки на примере города Мурино .....	298
<i>Тистирекова А.А., Павлов С.Я., Волкова Ю.В.</i> Навоз свиноводческих комплексов: переработка жидкой и твердой фракции .....	301
<i>Школин В.Д., Павлов С.Я., Скворцова О.С.</i> Дамба на реке Обь для защиты от затоплений Первомайского района Новосибирска .....	303
<i>Быченкова А.В., Скворцова О.С.</i> Сравнительный анализ компоновочных решений при реконструкции шлакозолоотвала № 1 Нерюнгринской ГРЭС .....	305
<i>Грязева Е.С., Волкова Ю.В.</i> Классификация работ на техническом этапе рекультивации карьеров .....	308
<i>Ревенко Р.А., Семенов Ф.М., Баденко В.Л.</i> Важность многоступенчатой очистки приточного воздуха в системах вентиляции медицинских учреждений.....	311
<i>Семенов Ф.М., Ревенко Р.А., Баденко В.Л.</i> Воздушные фильтры систем вентиляции, их классификация и маркировка .....	314
<i>Ивкин В.В., Баденко В.Л.</i> Использование шумозащитных экранов на примере автомобильных дорог в городе Сосновый Бор и его окрестностях .....	317
<i>Матвеев Ю.Д., Баденко В.Л.</i> Модернизация подруслового водозабора на реке Сусуя ..	319
<i>Магамдеров Ш.З.</i> Использование генеративно-состязательных сетей в проектировании .....	321
<i>Мохирева А.О., Камский В.В., Баденко В.Л., Соколов Н.Н., Мелехин Е.М.</i> Интеграция цифровой документации и онтологического моделирования в методы системного инжиниринга для автоматизации управления сложными техническими системами .....	323
<i>Мельничук О.А., Терлеев В.В.</i> Перспективы использования почвенных ресурсов Симферопольского района Республики Крым.....	325
<i>Ивакин М.В.</i> Оценка перспективы использования влагомера МГ-44 для определения влажности почв .....	328
<i>Бойко Н.Г., Попович В.Ф., Дунаева Е.А., Терлеев В.В.</i> Цифровой подход к оценке прогнозируемой эффективности выращивания сельскохозяйственных культур с учетом мониторинга динамики их развития .....	330
<i>Волков А.С., Фролов Ф.В., Дунаева Е.А.</i> Рынок метеостанций: особенности, достоинства и недостатки существующих моделей .....	333
<i>Колодяжный М.В., Дунаева Е.А., Барботкина Е.С.</i> Анализ методов прогнозирования урожайности виноградников на территории Крыма посредством данных дистанционного зондирования Земли.....	336
<i>Манжос А.А.</i> Оценка содержания в почве солей различными методами на примере пилотного участка.....	339

<i>Попович В.В., Дунаева Е.А.</i> Использование статистических материалов и данных ДЗЗ для мониторинга сельскохозяйственных земель в районах Республики Крым .....	341
<i>Александров А.О.</i> Роль кадастровой оценки земель в использовании земельно-ресурсного потенциала .....	343
<i>Богданов В.Л., Гарманов В.В.</i> Мониторинг состояния мелиорированных земель с учетом оценки качества почв .....	345
<i>Стаценко И.Е.</i> Проблемы территориальных зон земель рекреационного назначения Ставропольского края.....	348
<i>Цыбулин Д.В., Гарманов В.В.</i> Особенности управления земельным фондом на границе Санкт-Петербурга и Ленинградской области.....	350
<i>Богданов В.Л., Головин П.Н.</i> Система критериев для оценки эффективности агроландшафтов .....	353
<i>Павлова В.А., Чебулаев В.С., Саранчук М.В.</i> Полевое землеустроительное обследование на предмет установления степени зарастания участков борщевиком Сосновского и древесно-кустарной растительностью (на примере Волосовского района Ленинградской области).....	356
<i>Уварова Е.Л., Чернова И.А.</i> Прогнозирование использования земельного фонда региона методом экстраполяции .....	359
<i>Уварова Е.Л., Штыкова М.О.</i> Ретроспективный анализ регулирования использования заросших сельскохозяйственных угодий.....	362
<i>Моисеев К.Г., Терлеев В.В.</i> Концепция определения фрактальной размерности порового пространства почв и грунтов на основе исследования фильтрации влаги .....	365
<i>Лазарев В.А., Моисеев К.Г.</i> Идентификация модели гистерезиса водоудерживающей способности иловатого суглинка при одинаковых значениях экспоненциального параметра гидрофизических функций .....	367
<i>Моисеев К.Г., Терлеев В.В.</i> Критерии подобия (критериальная зависимость) для натурального моделирования засоления почв и грунтов .....	370
<i>Моисеев К.Г., Терлеев В.В.</i> Вычисление фрактальной размерности структуры почвы на основе анализа изображений .....	373
<i>Лазарев В.А., Гарманов В.В., Дунаева Е.А.</i> Идентификация модели гистерезиса водоудерживающей способности иловатого суглинка при разных значениях экспоненциального параметра гидрофизических функций.....	375
<b>Секция «Градостроительство» .....</b>	<b>378</b>
<i>Главина К.Р., Цветков О.Ю.</i> Принципы и подходы ревитализации антропогенных территорий на примере полигона ТБО «Бывшая Яблоновская свалка» в Невском районе Санкт-Петербурга .....	378
<i>Бахтыгареев А.А., Цветков О.Ю.</i> Аэрационный режим многоэтажной жилой застройки и его влияние на пешеходную комфортность в городе Мурино.....	381
<i>Демьшева А.А., Симанкина Т.Л.</i> Особенности развития велоинфраструктуры в Санкт-Петербурге.....	384
<i>Конжина Д.А., Павлов С.Я.</i> Доходный дом XVIII века: анализ исторической значимости и современного состояния.....	387
<i>Косачёва С., Симанкина Т.Л.</i> Выбор программных комплексов с искусственным интеллектом для моделирования кварталов застройки.....	390
<i>Альбатаине Биал Яхья Абдельрахим, Волкова Ю.В., Павлов С.Я.</i> Исламские сады: типизация и приёмы формирования.....	393
<i>Полетаева А.М., Волкова Ю.В.</i> Использование современных строительных материалов для проектирования остановочных павильонов общественного транспорта .....	396
<i>Полюх А.А., Романович М.А.</i> Концепция реконструкции мясокомбината «Самсон».....	398



<i>Рашиев М.О., Волкова Ю.В.</i> Совершенствование методики оценки обеспеченности озеленением жителей Санкт-Петербурга .....	401
<i>Смирнов Д.Д., Смирнов Д.И., Олехнович Я.А.</i> Виды реестровых ошибок в местоположении земельных участков и варианты их устранения.....	404
<i>Строева П.А., Перькова М.В.</i> Выявление градостроительных конфликтов на территориях открытых пространств микрорайонов второй половины XX века в г. Орле.....	406
<i>Сухова Д.М., Гордюшов Д.Д., Близнац Л.И.</i> Материалы несущих конструкций в истории архитектуры .....	409
<i>Торчинская П.А., Брайла Н.В.</i> Применение идей голубого урбанизма в развитии г. Геленджик .....	411
<i>Юсикова Д.А., Волкова Ю.В.</i> Особенности создания велодорожной сети в рекреационной зоне .....	414
<i>Герасимова К.С., Орлова Я.Р.</i> Современные принципы городского планирования и развития.....	417
<i>Ямшианов И.В., Платц И.Р.</i> Современные материалы в строительстве жилых комплексов: инновации и перспективы .....	419
<i>Лебедева И.А., Цветков О.Ю.</i> Анализ тенденции развития системы зонирования городской территории МО «Рыбацкое» за счёт совершенствования рыночных отношений с целью повышения эффективности городской инфраструктуры .....	421
<i>Ямшианов И.В., Платц И.Р.</i> Тенденции и инновации в развитии многофункциональных жилых комплексов .....	424
<i>Чжао Ц., Романович М.А.</i> Построение системы показателей комплексной оценки для зелёных умных городов .....	427
<i>Короткова А.С., Константинова А.А., Избасарова А.А.</i> Оценка визуальной экологии городов Мурино и Кудрово .....	430
<i>Родригес Гомес К.И., Ямшианов И.В.</i> Градостроительный анализ реконструируемого квартала по улице Еленинской в городе Ломоносове .....	432
<i>Родригес Гомес К.И., Ямшианов И.В.</i> Типология архитектурных стилей на Еленинской улице в Ломоносове .....	435
<i>Литвин Г.Ю., Сычева А.М., Беляева С.В.</i> Цементные смеси для строительной 3D-печати.....	438
<i>Жунусов М., Симанкина Т.Л.</i> Применение нейросетевого классификатора и генетического алгоритма в планировании городского квартала .....	441
<i>Латина С.В., Цветков О.Ю.</i> Предпосылки создания концепции озеленения территории города Мурино.....	443
<i>Латыпов М.А., Минаев М.К., Цветков О.Ю.</i> Шум как важный параметр качества проектируемой городской среды.....	445
<i>Али Т.А., Цветков О.Ю.</i> Природно-экологический потенциал территории горда Джизан, Саудовская Аравия, и возможные направления его устойчивого развития .....	447

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов  
Всероссийской конференции

1–4 апреля 2024 года

Часть 1

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

---

Подписано в печать 03.05.2024. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 28,75. Тираж 32. Заказ 2322.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета,  
предоставленного организационным комитетом конференции,  
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.